Ciência e Tecnologia no Brasil: Uma Nova Política para um Mundo Global

AVALIAÇÃO DA ÁREA E PROPOSIÇÕES PARA A FÍSICA NO BRASIL

Sérgio M. Rezende, Departamento de Física, UFPE, Recife

Este trabalho faz parte de um estudo realizado pela Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas por solicitação do Ministério da Ciência e Tecnologia e do Banco Mundial, dentro do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT II). As opiniões expressas neste texto são de responsabilidade exclusiva do autor. Publicado em versão revista em S. Schwartzman, ed., *Ciência e Tecnologia no Brasil: A Capacitação Brasileira para a Pesquisa Científica e Tecnológica",* vol. 3, Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1996, pp. 117-214.

1994

AVALIAÇÃO DA ÁREA E PROPOSIÇÕES PARA A FÍSICA NO BRASIL

Conteúdo

RESUMO

Este documento consta de quatro secções: Apresentação da Física; A Física no Brasil, Avaliação da Área; e Recomendações para o Desenvolvimento da Área.

A primeira secção tem a finalidade de apresentar as características da pesquisa em Física e seu papel na sociedade, visando informar o leitor sobre peculiaridades e aspectos importantes desta área que são úteis para a compreensão do documento. Neste mesmo sentido apresentamos uma descrição resumida das principais características e objetivos de pesquisa das diversas sub-áreas da Física, classificadas da seguinte maneira: Partículas Elementares e Áreas Correlatas; Nuclear; Matéria Condensada; Atômica e Molecular; Plasma; Áreas Interdisciplinares; Ensino Básico de Física.

Na Secção 2, A Física no Brasil, apresentamos um breve histórico da evolução da Física no Brasil, desde a vinda de Wathagin e Gross na década de 1930 até a crise dos anos recentes, passando pelo "boom" da década de 70. São apresentados dados numéricos que mostram o crescimento do número de físicos chegando aos 1350 doutores de hoje. Apresentamos também dados sobre a formação de mestres e doutores, os investimentos na Física, a atual distribuição de doutores por área e informações númericas sobre 34 instituições que tem grupos de pesquisa.

A Secção 3, apresenta uma avaliação crítica da área no País. O quadro institucional mostra uma grave distorção: 84% dos doutores estão em universidades, 14% em centros de pesquisa com missões específicas e apenas 2% em empresas, enquanto nos países desenvolvidos 50% estão na indústria e só 25% estão em universidades. O número atual de físicos é pequeno, mesmo em termos relativos, quando comparado com países do primeiro mundo. Não obstante, este número tem crescido rapidamente e o sistema de pós-graduação no país está formando atualmente cerca de 100 doutores por ano. Caso esta taxa aumente gradualmente atingindo 150/ano no período de 5 cinco anos, o País poderia contar com 3.000 doutores em Física em torno do ano 2004. Porém, para isto é necessário mudar o patamar de investimentos na Física, passando do valor histórico de 27 mil dólares ao ano por doutor para o dobro. Nesta secção também é feita uma avaliação global do desempenho da pesquisa em Física no País e apresentada a situação de cada sub-área de atividade.

Finalmente a Secção 4 é dedicada a proposições e recomendações para a melhoria e expansão da Física e para aumentar sua contribuição ao desenvolvimento científico e tecnológico do País. São apresentadas 15 recomendações, divididas em quatro grupos, sendo cada uma precedida por um preâmbulo explicativo de sua motivação. O primeiro grupo consta de três recomendações gerais sobre o financiamento da Física. A primeira é referente à criação dos Laboratórios/Entidades Associadas, como forma de garantir estabilidade do custeio mínimo das instituições de reconhecida competência em pesquisa. No segundo grupo recomenda-se que o financiamento de maior vulto seja feito através de seis programas temáticos. O terceiro consta de recomendações relativas a formação de recursos humanos, tanto no País como no Exterior e a fixação de pesquisadores. O quarto grupo contém recomendações visando ampliar o papel da Física no desenvolvimento do País.

1. APRESENTAÇÃO DA FÍSICA

texto desta secção se baseia em grande parte em documentos elaborados por comissões nacionais [1,2,4]
nos Estados Unidos .

A Física é o campo da ciência que investiga os
natureza, procurando sua compreensão e descrição em termos de leis as mais gerais possíveis. A Física
desde partículas subatômicas e sua estruturação em átomos e moléculas, até fenômenos que
grandes aglomerados destes, como a matéria ordinária. Nessa escala, por exemplo, suas leis e
os são usadas para o estudo da Terra e dos fenômenos que ocorrem em sua atmosfera. Em uma

modelos para a sua evolução.

processo de compreensão da natureza, as investigações físicas tem possibilitado o domínio de
naturais bem como a criação de fenômenos, materiais e sistemas artificiais que tem contribuído
para o avanço de outros campos da ciência e para o progresso tecnológico da humanidade.
físicos europeus sobre os fenômenos elétricos e magnéticos, no
passado, que levaram à invenção do gerador e do motor elétricos, utilizados atualmente para gerar
elétrica e para produzir movimento, numa variedade enorme de aplicações que afetam nossa vida
Essas mesmas investigações levaram à descoberta no século passado de que a luz é uma onda
mas com menor freqüência, propiciaram a invenção do rádio, da
do radar e dos sofisticados meios de telecomunicações que estão incorporados na sociedade

A
estrutura
desenvolvimento
exemplo
descoberta
inve
revolucionaram
formando
comunicações
domínio da Física tem também contribuído para outros campos importantes
o
de ressonância magnética nuclear, que tem contribuído enormemente para o progresso da Medicina.

quase toda a atividade atual de pesquisa
feita sobre temas inexistentes há cem anos. A maioria deles decorre da descoberta da estrutura atômica
matéria e sua compreensão por meio da mecânica quântica. Na Física de hoje muitos fenômenos
fazem parte de nossa experiência cotidiana, sendo necessárias condições muito especiais
produzí-los e analisá-los. Isto tem levado a espetaculares sucessos tecnológicos que suscitam grandes
nesta área, com a conseqüência de que há atualmente um grande número de profissionais
produzir e analisar os fenômenos e o
número de participantes do panorama científico contemporâneo, estabelecem uma diferença
entre a Física de nossos dias e a do início do século. Apesar do método científico básico
em essência, inalterado o pesquisador moderno necessita de equipamento sofisticado, apoio
de alto nível, infra-estrutura adequada e acesso rápido aos resultados obtidos por outros pesquisa-

pesquisa, que normalmente recebem recursos diretamente dos órgãos financeiros. Raramente os físicos trabalham isoladamente, sendo as publicações científicas em geral assinadas por vários autores. Com freqüência a colaboração científica envolve pesquisadores de outras áreas ou extrapola os muros das instituições, congregando pessoas de vários locais ou até mesmo de países diferentes.

Finalmente, é importante ressaltar que a complexidade dos equipamentos e da linguagem matemática das teorias tornou inevitável a divisão dos físicos em duas categorias: teóricos e experimentais. Os experimentais realizando o contato concreto com os fenômenos, planejando, construindo e utilizando equipamentos para testar conjecturas geradas pelas próprias experiências ou sugeridas pelos teóricos. Estes, por sua vez, trabalham preponderantemente na elaboração de modelos abstratos para conjuntos de fenômenos ou, em nível mais avançado, na construção de teorias. Ambos são indispensáveis ao progresso da Física. Com freqüência os equipamentos usados pelos físicos são criados e desenvolvidos pelos próprios grupos de pesquisadores, e muitas vezes encontram aplicações na indústria e em outros campos da ciência.

Sendo o processo científico moderno complexo e dispendioso, seu desenvolvimento e manutenção dependem de decisões políticas do poder público, que afetam de muitas maneiras toda a sociedade. Como em outros campos da ciência, as descobertas e invenções dos físicos podem contribuir tanto para a melhoria das condições de vida em nosso planeta, quanto para destruir a própria vida. Como utilizar as descobertas científicas apenas para o bem é um dos principais desafios da sociedade moderna. Nessa discussão, os físicos e outros cientistas tem participado ativamente desempenhando importante papel esclarecedor.

Além de contribuir para o avanço das fronteiras do conhecimento humano, a Física tem um importante papel na formação de profissionais que exercem atividades essenciais na sociedade, como engenheiros, médicos, técnicos de diversas especialidades, etc. Por esta razão as universidades e as escolas de formação profissional tem grande número de professores de Física, que em geral são físicos pesquisadores. Mesmo assim, nos países desenvolvidos apenas uma fração dos físicos (30-40%) exerce suas atividades em instituições de ensino. A maior parte é empregada na indústria, em laboratórios com missões específicas ou centros de pesquisa. Como veremos mais tarde, este não é caso do Brasil, onde as oportunidades de emprego de físicos na indústria, embora crescentes, são ainda muito reduzidas.

1.2 Áreas da Física

Sendo um campo extremamente sofisticado da ciência, a Física investigada nos dias de hoje é subdividida em várias áreas distintas. Utilizaremos aqui a divisão adotada pela Sociedade Brasileira de Física [(5)]:

Física das Partículas Elementares e Áreas Correlatas
Física Nuclear
Física da Matéria Condensada
Física Atômica, Molecular e Óptica
Física de Plasmas
Áreas Interdisciplinares
Ensino Básico de Física

A seguir apresentamos uma descrição resumida das principais características e objetivos de pesquisa dessas áreas visando posteriormente situar o estado da Física no País.

Física das Partículas Elementares

A Física das Partículas Elementares tem por objetivo a descoberta e a compreensão dos constituintes mais simples da matéria e das forças básicas que atuam entre eles. Busca-se, sobretudo, as

leis
possam prever fenômenos novos.

o próprio nome diz, uma partícula elementar é aquela que não apresenta estrutura interna.
a caracterização das partículas elementares tem variado conforme a época histórica
Os átomos foram considerados os constituintes mais simples da matéria por longo tempo, até
no início deste século descobriu-se que eles eram constituídos de um núcleo, formado por prótons e
e por elétrons. Os prótons e nêutrons foram considerados elementares por cerca de 50 anos.
durante as duas últimas décadas, descobriu-se que os mesmos possuem uma estrutura interna que
ser descrita em termos de partículas mais simples, chamadas quarks. Os elétrons, por outro lado, até
não apresentaram indícios de possuir estrutura interna, sendo, portanto considerados como partículas

As
e
O
busca-se
nominação
híperons,
como por exemplo o fóton, mediador da força eletromagnética.

quatro forças básicas na natureza: a gravitação, a eletromanética, a interação fraca e a
nuclear forte. Considerando a força forte como tendo intensidade 1, as outras têm, tipicamente, os
valores: força gravitacional 10 ; $^{-5}$ $^{-2}$ Um dos objetivos
da pesquisa nesta área é a obtenção de modelos que unifiquem todas as interações. Já existe uma
unificada das interações eletromagnéticas e fracas, mas ainda não há um esboço satisfatório de uma

Na
resultados
as
alta
um
existem
Isto faz com que a cooperação científica internacional seja essencial para a pesquisa nesta área.

esforço para a compreensão das partículas elementares tem extrapolado para áreas
Relatividade, Gravitação, Cosmologia, a Astrofísica e a própria Física
Entre os tópicos mais vibrantes da pesquisa atual nestas áreas correlatas estão os buracos
e as ondas gravitacionais. A existência de buracos negros é uma das conseqüências da Relatividade
Neles a atração gravitacional se torna tão intensa que, classicamente, nem mesmo a luz pode

gravitacionais
pela experiência.

da Relatividade Geral é o modelo cosmológico do Universo
expansão, a partir da explosão inicial de um Universo pequeno e muito quente, seguida de sua
e resfriamento. A descoberta de uma radiação de fundo isotrópica de 3K de temperatura deu um

Física Nuclear

Compreende o estudo da estrutura de núcleos nos estados fundamentais e excitados; o estudo das interações entre núcleos e outras partículas, tais como fótons, elétrons, mésons, etc., tanto no que diz respeito à natureza da interação envolvida, como à informação sobre a estrutura do núcleo assim obtido; estudo de interações entre os componentes dos núcleos, chamados núcleons, e a interação de núcleos ou radiações nucleares com a matéria.

Os problemas da Física Nuclear são caracterizados pelo fato de que a interação responsável pela agregação de núcleons em núcleos só é conhecida em termos fenomenológicos, contrastando fortemente neste sentido com a Física Atômica. Além disso, a estrutura nuclear não é caracterizada nem como um sistema de pouco corpos quase independentes, como os elétrons das camadas atômicas, nem como um sistema de muitos corpos, típico da matéria condensada. As experiências e as teorias até agora desenvolvidas revelam que o núcleo tem um rico espectro de modos de excitação, que ainda desafia as explicações teóricas. A extensão do estudo de interações nucleares até energias mais altas e a sistemas mais complexos, como, por exemplo, nas interações entre núcleos complexos acima da barreira coulombiana, revela novos fascinantes modos de excitação.

Atualmente, as principais ferramentas da Física Nuclear são aceleradores eletrostáticos e cíclotrons para baixas energias, aceleradores lineares e outros tipos para energias mais altas. Os reatores ainda oferecem interessantes possibilidades para a pesquisa nessa subárea.

Uma área onde o impacto de Física Nuclear transcende as fronteiras das Ciências Exatas, tendo imensas implicações sociais, econômicas e políticas, é a de Energia Nuclear. Ela se destaca, tanto por seus aspectos positivos quanto negativos, como uma das principais causas do reconhecimento da relevância do papel da ciência na sociedade moderna.

Física da Matéria Condensada

A Física da Matéria Condensada investiga os estados da matéria no qual os átomos constituintes estão suficientemente próximos e interagem simultaneamente com vários vizinhos. Ela é uma área de investigação básica, que procura a explicação detalhada de propriedades e fenômenos da matéria condensada a partir dos conceitos e das equações fundamentais da mecânica quântica e da física estatística. São particularmente interessantes as propriedades elétricas, ópticas, magnéticas, mecânicas e térmicas. Por outro lado a Física da Matéria Condensada tem uma enorme quantidade de aplicações na tecnologia moderna. Por exemplo, foi a partir de investigações nesta área que surgiram grandes inovações tecnológicas como os transistores, os circuitos integrados, os microprocessadores, os fios supercondutores e os lasers semicondutores que deram origem às comunicações ópticas.

Esta área da Física começou a adquirir características próprias apenas a partir de 1948, inicialmente sob o nome de Física do Estado Sólido. Até aquela época as propriedades da física dos sólidos eram objeto de estudo como exemplo de aplicação da mecânica quântica, estabelecida vinte anos antes. Foi a descoberta do transistor naquele ano que deu enorme impulso à pesquisa em Física de Sólidos.

Na década de 50 os trabalhos nesta área estavam concentrados nos sólidos cristalinos, cujos íons formam um arranjo ordenado periódico. Nesses sólidos ocorrem fenômenos que não existem em materiais amorfos. Além disso, como eles têm estrutura cristalina com propriedades de simetria bem definidas, os fenômenos podem ser interpretados pelas leis da Física com mais facilidade. Com o progresso das técnicas de investigação experimentais e teóricas, esta área se estendeu a materiais como o vidro, polímeros orgânicos diversos (teflon, poliacetileno, etc.), ligas amorfas e até mesmo aos líquidos, passando a ser conhecida como Física da Matéria Condensada. Nessa área da Física trabalham atualmente mais de 40% dos físicos em todo o mundo e a cada ano surgem novas linhas de pesquisa, impulsionadas pela descoberta de novos fenômenos e de novos materiais artificiais. Estas linhas por sua vez abrem o potencial para o desenvolvimento de novos dispositivos que encontram aplicações nos mais variados segmentos tecnológicos.

Entretanto, não foi apenas por causa de sua importância tecnológica que a nova área se desenvolveu rapidamente. A enorme variedade de fenômenos que os elétrons e os núcleos apresentam coletivamente em sólidos deu origem a descobertas fundamentais e excitantes. A Física da Matéria Condensada é atualmente uma das áreas mais estimulantes da ciência, contribuindo continuamente para a descoberta de novos fenômenos fundamentais e de novos materiais avançados. Apenas nos últimos dez anos pode-se destacar: a descoberta do efeito Hall quântico; o desenvolvimento de estruturas artificiais formadas por materiais semicondutores ou materiais magnéticos, fabricados pela deposição sucessiva de monocamadas atômicas formando super-redes, hetero-estruturas ou poços quânticos; a descoberta de efeitos magnéticos e eletrônicos em sistemas de dimensionalidade menor que três; a identificação e compreensão de fenômenos críticos e transições de fase em sistemas complexos; a formulação teórica e a observação experimental de fenômenos de turbulência e caos em uma grande variedade de sistemas; a descoberta de processos de condução por ondas de densidade de carga e, mais recentemente, a síntese de materiais supercondutores a temperaturas mais altas.

Uma característica importante desta área é seu caráter descentralizador. É possível investigar um problema de fronteira em materiais com laboratórios de custos e dimensões muito pequenos em comparação com os das grandes máquinas utilizadas na Física Nuclear ou de Partículas. Além disso, ela utiliza uma grande variedade de técnicas experimentais baseadas em instrumentação eletrônica, óptica e criogênica, sendo portanto muito propícia para a formação de técnicos e pesquisadores. Estas duas características, laboratórios pequenos e com grande variedade de técnicas, associadas a uma proximidade com a tecnologia, são responsáveis pela disseminação desta área de pesquisa em todo o mundo, assim como no Brasil.

Física Atômica, Molecular e Óptica

A Física Atômica e Molecular estuda a estrutura e os fenômenos eletrônicos em átomos individuais ou em átomos que compõem moléculas isoladas. As tentativas de entender a estrutura dos átomos constituíram a base da Física Moderna, desenvolvida nas décadas de 20 e 30. Depois de resolvidos os problemas mais simples, o interesse dos físicos passou para as áreas da Física Nuclear e de Partículas Elementares e, mais tarde, para o Estado Sólido deixando os problemas da estrutura de moléculas para os químicos. Nas últimas décadas, entretanto, graças ao desenvolvimento dos lasers, das modernas técnicas de Ópticas e de produção de feixes atômicos e moleculares, esta sub-área foi revolucionada, tornando-se uma das mais importantes da Física. Como as técnicas ópticas estão atualmente entre as principais ferramentas para o estudo de átomos e moléculas e, por outro lado, átomos e moléculas constituem os sistemas mais simples para o teste de fenômenos de interação radiação-matéria, a Óptica é freqüentemente incorporada a mesma sub-área da Física Atômica e Molecular.

Nesta sub-área, a introdução de novas técnicas espectroscópicas tem possibilitado medidas muito precisas de várias grandezas fundamentais e colocado novos desafios do ponto de vista teórico. Uma lista não exaustiva dos novos fenômenos e linhas de pesquisa que têm merecido muita atenção nos últimos anos inclui o estudo da espectroscopia de átomos e moléculas; o aprimoramento e a manipulação de um pequeno número de átomos e íons; efeitos de fotodissociação molecular e fotoionização atômica; produção e manipulação de átomos gigantes; múltiplos efeitos de interação da luz com a matéria condensada, destacando-se em particular o estudo dos fenômenos ultra-rápidos; observação de efeitos de interação fraca em Física Atômica; produção de estados quânticos do campo eletromagnético; espectroscopia e dinâmica de superfícies; eletrodinâmica quântica de cavidades; estudos básicos de propagação de pulsos eletromagnéticos em sistemas atômicos e em sólidos; produção de íons pesados e estudos de colisões atômicas entre outros efeitos.

Por outro lado, o surgimento dos grandes computadores têm estimulado bastante os trabalhos teóricos sobre estruturas eletrônicas de átomos e moléculas e para o cálculo de propriedades específicas de átomos e moléculas. Os cálculos teóricos têm sido incentivados não somente pelo seu interesse

intrínseco, mas, também, pelos resultados experimentais obtidos a partir de novas técnicas espectroscópicas com lasers e de fotoelétrons.

Física de Plasmas

Física de Plasmas investiga movimentos coletivos de partículas carregadas, elétrons ou íons, ou estados de equilíbrio destas partículas, sujeitas à ação de seus próprios campos. Este conjunto de partículas e campos representa um meio fluido chamado Plasma. Em particular, são tratadas questões como confinamento de plasma, equilíbrio e sua estabilidade, aquecimento e propriedades de transporte, propagação de ondas, interação de partículas com onda, instabilidades, turbulência e caos.

Plasmas são encontrados na natureza, como em descargas elétricas (relâmpagos), na ionosfera, no espaço interplanetário e intersideral, na corona solar, nas estrelas, anãs brancas e pulsares. Eles também são produzidos em laboratórios, como em descargas elétricas, em equipamentos de pesquisa em fusão nuclear, em lasers a gás, dispositivos semicondutores e metálicos e em equipamentos industriais a plasmas. Nos últimos anos o domínio do confinamento de plasmas a altas temperaturas avançou muito, tornando possível visualizar no futuro a fusão controlada para geração de energia, em processo semelhante ao que ocorre no Sol e nas estrelas.

Áreas Interdisciplinares

São as que reunem duas ou mais áreas da ciência ou da tecnologia, uma delas sendo a Física. A principal dificuldade da pesquisa nessa área é a necessidade de se somarem competências de mais de um setor de atividade científica. Algumas dessas áreas de maior atividade no País estão descritas a seguir.

! Ciência dos Materiais

A subárea de Ciência dos Materiais está situada na fronteira entre a Física e a Tecnologia de Materiais. Sua importância está no desenvolvimento de novos materiais de uso tecnológico, na compreensão básica das propriedades de materiais, e como elemento de formação de pessoal técnico-científico de alto nível, capaz de enfrentar futuros desafios tecnológicos. A variedade de técnicas, tanto experimentais como teóricas, modernas ou clássicas de alta sofisticação, usadas nesse campo, contribui para sua aproximação acentuada à Física da Matéria Condensada.

Incluem-se nesta subárea o crescimento e preparação de cristais, materiais amorfos, filmes e multicamadas, o estudo de propriedades (térmicas, mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas) deste materiais e de processos de corrosão e oxidação, bem como a preparação de dispositivos eletrônicos feitos com os diversos materiais.

! Biofísica, Física Médica e Engenharia Biomédica

O interesse que grande número de físicos vem tendo no estudo dos processo biológicos tem-se acentuado nestes últimos anos. A Biofísica abrange um vasto campo de interesses, que compreende problemas de natureza complexa e altamente desafiantes, exigindo pessoal com boa formação em Física e em Biologia. Pode ser qualificada como uma área interdisciplinar, onde técnicas clássicas, como por exemplo raios X, têm sido extensivamente utilizadas, ao lado de técnicas espectroscópicas mais modernas, como Espectroscopia de Batimento Óptico, Espectroscopia Raman, Ressonância Eletro-para-magnética, Efeito Mössbauer, etc.

Em paralelo a essas atividades de pesquisa básica, tem-se desenvolvido de forma acelerada, nos últimos anos, o uso de técnicas largamente utilizadas por físicos e engenheiros na área médica, o que se

tem chamado de Física Médica ou Engenharia Biomédica. As técnicas mais empregadas são ultra-som, raios X para diagnose médica, radiações ionizantes para tratamento do câncer, sinais elétricos das mais diversas origens, tanto em diagnose (por exemplo, em eletrocardiograma) como em análise clínica (medidores contínuos de concentração de íons). O uso da eletrônica digital e de métodos computacionais no tratamento de sinais obtidos pelos mais variados tipos de transdutores é, também, uma área de grande progresso. O desenvolvimento de órgãos artificiais e mais variados tipos de equipamentos auxiliares, como criobisturi, magnetocardiógrafo, tomógrafo de RMN, também está compreendido na área de Engenharia Biomédica.

! Geofísica

Muitos métodos teóricos e experimentais da Física tem contribuído para a compreensão geofísica das três fases da Terra, o planeta sólido, os oceanos e a atmosfera. As técnicas de análise de rochas são os mesmas utilizadas para investigar cristais em Física da Matéria Condensada. A sismologia moderna é baseada em técnicas ópticas com lasers. Técnicas eletromagnéticas são usadas para determinar a presença de minerais e de petróleo sob a crosta terrestre. Na atmosfera, a análise da massa de ar turbulento está sendo estudada com técnicas de dinâmica de fluídos e computação de larga escala. Esta área interdisciplinar de investigação une físicos, geólogos, matemáticos e engenheiros, na busca de soluções para problemas complexos e de grande importância para a melhoria da vida na Terra.

! Fontes Não Convencionais de Energia

A importância crescente que os problemas de energia assumiram no desenvolvimento das nações modernas na última década trouxe aos físicos novas e importantes oportunidades e desafios. Estes problemas decorrem basicamente da necessidade de desenvolver novos métodos de produção de energia (solar, eólica, gradiente térmico dos oceanos, marés, etc.) e de aumentar a eficiência das máquinas comuns, baseadas no uso dos combustíveis fósseis convencionais (carvão, petróleo e gás). Em geral, os métodos e aparelhos envolvidos funcionam na base das leis da mecânica clássica e são conhecidos há muito tempo, havendo, porém, sérios problemas de engenharia na sua realização prática.

Muitos físicos estão participando no estudo dos problemas de energia, ao lado de engenheiros, economistas, urbanistas e cientistas sociais, tendo contribuído significativamente para os progressos do campo.

Ensino Básico de Física

Esta não é, propriamente, uma área de pesquisa de fronteira em Física como as anteriores. Entretanto, como a Física é uma disciplina básica do segundo grau e de cursos superiores de ciências exatas, engenharia, medicina, farmácia, etc., seu ensino requer um contínuo aperfeiçoamento tanto conceitual quanto metodológico. No Brasil, como nos países desenvolvidos, há grande número de profissionais dedicados a atividades relacionadas com a melhoria do ensino básico de Física. Entre essas atividades pode-se destacar: Produção de materiais instrucionais e tecnologias educacionais, adequados aos diversos níveis e, a avaliação de sua eficiência no aprendizado; Estudo de concepções alternativas em Física e sua influência no aprendizado; Experimentação de metodologias alternativas de ensino; Produção de material didático e de divulgação, como textos científico-pedagógicos e vídeos; trabalhos voltados para a melhoria do professor e do sistema educacional; Investigação teórica e experimental do processo de ensino-aprendizado; Investigação histórica e filosófica da Física e da ciência como um todo.

2. A FÍSICA NO BRASIL

2.1 Breve Histórico

A Física foi introduzida no Brasil como uma disciplina básica dos cursos de engenharia criados no final do século passado. Porém, somente na década de 1930, graças a vinda para o Brasil de alguns físicos europeus, foram criados os primeiros grupos de pesquisa de fronteira. Gleb Wataghin implantou a pesquisa em Física Nuclear e Partículas na recém criada Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP em São Paulo, enquanto no Instituto Nacional de Tecnologia no Rio de Janeiro Bernard Gross deu início a investigação na área de Física dos Sólidos. Os dois foram responsáveis pela formação de escolas que se mostraram essenciais para o posterior desenvolvimento da Física brasileira.

No decorrer da década de 40 firmou-se a geração que realmente fundamentou a construção da Física e contribuiu para o desenvolvimento da Ciência no País. Na USP foram implantados os primeiros aceleradores de partículas nos grupos experimentais de Física Nuclear, enquanto Mário Schenberg ganhava projeção internacional por seus trabalhos teóricos em Física Nuclear e Partículas. No Rio de Janeiro Gross e seu discípulo Joaquim Costa Ribeiro faziam as primeiras descobertas de vulto em transições de fase em sólidos no Instituto Nacional de Tecnologia. Na área teórica, José Leite Lopes e Jayme Tiomno nucleavam um grupo de partículas muito ativo na Faculdade de Filosofia da Universidade do Brasil. Eles propiciaram a volta para o Rio de César Lattes, que acabara de participar das experiências da descoberta do méson na Inglaterra, e com ele fundaram em 1949 o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF. O dinamismo e o prestígio deste grupo foram também decisivos para a criação, em 1951, do Conselho Nacional de Pesquisas, o CNPq, que foi fundamental para o desenvolvimento da ciência no País.

Na década de 50 os laboratórios de Física Nuclear da USP passaram por uma fase de expansão, sob a liderança de Oscar Sala e José Goldemberg, tendo sido instalados dois aceleradores nucleares, um Betatron e um Van de Graff. Por sua vez o CBPF rapidamente ganhou prestígio internacional em Física Teórica Nuclear e de Partículas. Nesta fase a USP e o CBPF atrairam visitantes de altíssimo nível, alguns dos quais viriam mais tarde a ganhar o Prêmio Nobel de Física, como Richard Feynman. Devido ao "glamour" dessas áreas, a quase totalidade dos físicos jovens brasileiros na década de 50 foi atraída para elas. Em conseqüência, em 1960 quando o transistor já tinha mais de 10 anos de existência e o laser já tinha sido inventado, não havia mais que meia dúzia de físicos de Estado Sólido ativos no País. Só mais tarde a Física da Matéria Condensada ganharia impulso no Brasil.

A expansão da Física no País acelerou-se na década de 60, possibilitada em grande parte pela criação do FUNTEC do BNDES. No início da década foi criado o primeiro grupo teórico e experimental de Sólidos e Baixas Temperaturas na USP, por iniciativa de Mário Schenberg e Newton Bernardes. Também ganhou vulto o grupo de Sólidos de Sérgio Mascarenhas na Escola de Engenharia da USP, em São Carlos, e surgiram grupos de Física Nuclear e Física de Sólidos nas Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais e na PUC do Rio de Janeiro. Com a criação dos programas regulares de pós-graduação em 1965, o número de físicos em atividade no País passou a crescer rapidamente. A criação da Universidade de Brasília, com a participação de vários físicos, trouxe grande entusiasmo pela perspectiva de modernização das estruturas acadêmicas que ela representava. Mais tarde o Governo Militar abortou a experiência da UnB e cassou os direitos políticos de físicos importantes, como Leite Lopes e Tiomno, produzindo um grande efeito negativo no desenvolvimento da Física. Apesar disso, por conta da reforma universitária de 1968 e da introdução do regime de trabalho em tempo integral, a Física continuou expandindo-se nas universidades federais em todo País.

Foi na década de 1970 que a Física, assim como outros campos da ciência, experimentou seu maior desenvolvimento no Brasil. Com a criação do FNDCT e sua lúcida gestão por José Pelúcio Ferreira na FINEP, foi financiada a implantação da infra-estrutura de grupos de pesquisa em todo País. Vários físicos que estavam no Exterior retornaram ao Brasil e a eles se juntaram jovens doutores e estudantes dos cursos de pós-graduação apoiados pela CAPES e pelo CNPq, a nível federal, e pela FAPESP no Estado de São Paulo. Nesta década a Física da Matéria Condensada expandiu-se fortemente, estimulada em grande parte por sua inter-relação com a tecnologia avançada. Seu principal impulsionador foi o recém-criado Instituto de Física da UNICAMP, mas também em muitas outras instituições do País ela ganhou corpo, como nas Universidades Federais de Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, assim como no CBPF, PUC-RJ, São Carlos e na própria USP em São Paulo. A infra-estrutura de grupos de pesquisa

em Física Nuclear também ganhou nova dimensão com a instalação do acelerador Pelletron na USP em 1972 e a conclusão do acelerador Van de Graff na PUC-RJ. Porém, a descentralização geográfica e a expansão da Física da Matéria Condensada se constituíram nos aspectos mais marcantes do desenvolvimento da Física nos anos 70.

A década de 80 foi caracterizada por uma grande diminuição dos recursos federais destinados à Ciência e Tecnologia, inclusive à Física. Pouquíssimos investimentos de vulto foram realizados neste período, o que resultou num processo gradual de obsolecência da infra-estrutura de pesquisa. As únicas instituições novas criadas neste período foram o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron do CNPq, em Campinas em 1986, e o Centro Internacional de Física da Matéria Condensada da Universidade de Brasília, em 1989.

A crise do financiamento federal agravou-se nos anos 1990-92 atingindo níveis sem precedentes. Institutos e departamentos de Física que contavam com apoio regular da FINEP desde a década de 70 tiveram seus financiamentos interrompidos ou drasticamente reduzidos. O CNPq não teve recursos para pagar auxílios para pesquisa aprovados em 91 e 92. Como conseqüência, muitos técnicos pagos com verbas de projetos foram despedidos, atividades de pesquisa foram interrompidas ou tiveram seu ritmo muito reduzido, provocando o desânimo entre pesquisadores e estudantes e estimulando a evasão de bolsistas que obtiveram o doutorado no exterior. A crise na Física como um todo só não é mais profunda por conta de sua concentração no Estado de São Paulo, onde a FAPESP teve suas verbas incrementadas a partir de 1990 e pode compensar a diminuição dos recursos federais. De fato, isto tem provocado uma migração de estudantes e pesquisadores para São Paulo que, embora tímida no momento, tende a agravar-se caso a crise federal não seja suplantada.

2.2 Evolução Quantitativa

a) Número de Doutores

O número de físicos em atividade no País tem aumentado continuamente nas últimas décadas. A Figura 1 mostra a evolução desde 1970 do número de físicos com doutorado atuando em universidades, centros de pesquisa e empresas. Como se vê, de 1970 a 1992 o número de doutores passou de 200 para cerca de 1350, o que representa um aumento por um fator 6,5. Um aspecto significativo do gráfico da Figura 1 é a mudança na taxa de crescimento ocorrida a partir de 1986. No período 1970-1986 a taxa se manteve aproximadamente constante em 45 doutores/ano, porém desde 86 ela tem aumentado e se aproxima de 100 doutores/ano atualmente.
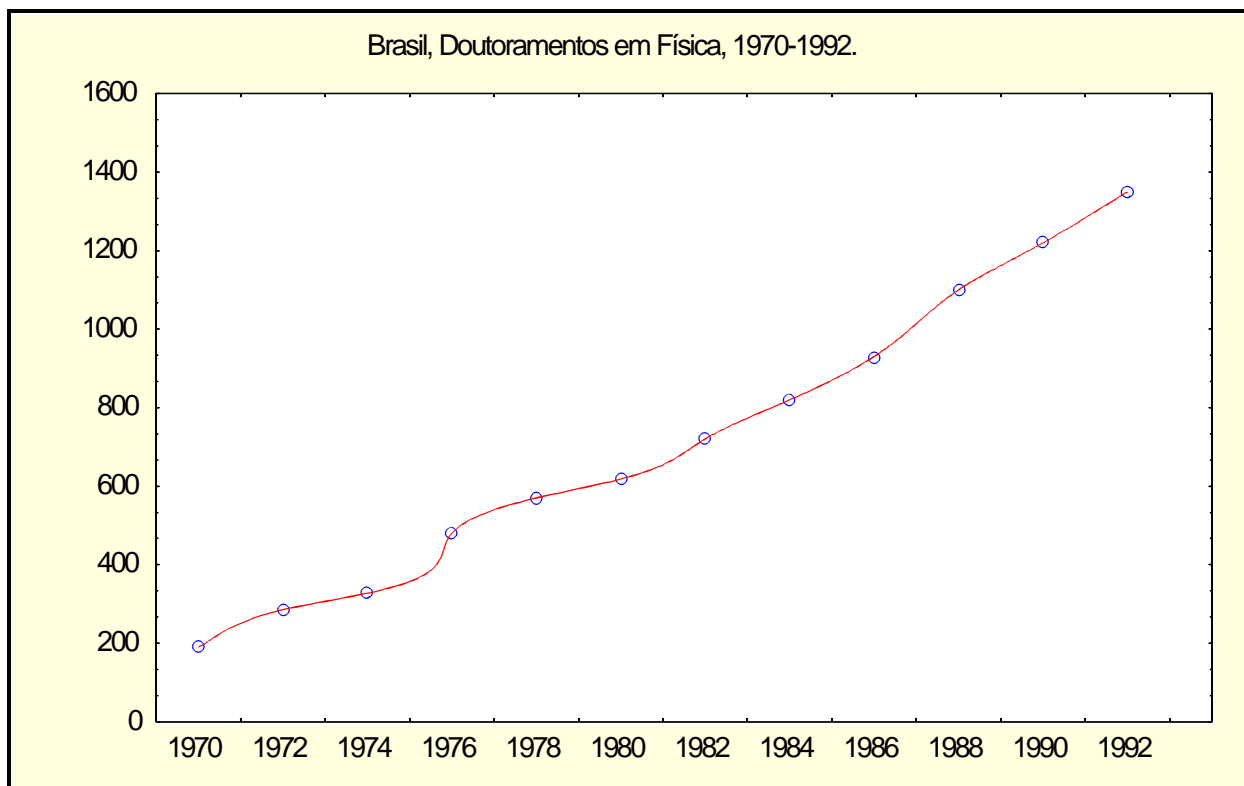
Figura 1

b) Formação Pós-Graduada

O aumento recente na taxa de crescimento do número de doutores no País é resultado direto dos investimentos feitos na década de 70 para a implantação da infra-estrutura de pesquisa. Isto possibilitou a melhoria e a expansão dos cursos de pós-graduação, com o conseqüente aumento do número de estudantes. Como pode ser visto na Figura 2, enquanto o número de estudantes de mestrado atingiu uma saturação na década de 80, determinada principalmente pela limitação no fluxo de estudantes formados na graduação, o número de doutorandos no País tem crescido continuamente atingindo cerca de 700 em 1992. Este número é sete vezes maior que o de bolsistas em programas de doutorado no Exterior, cerca de 90 do CNPq e 20 da CAPES.
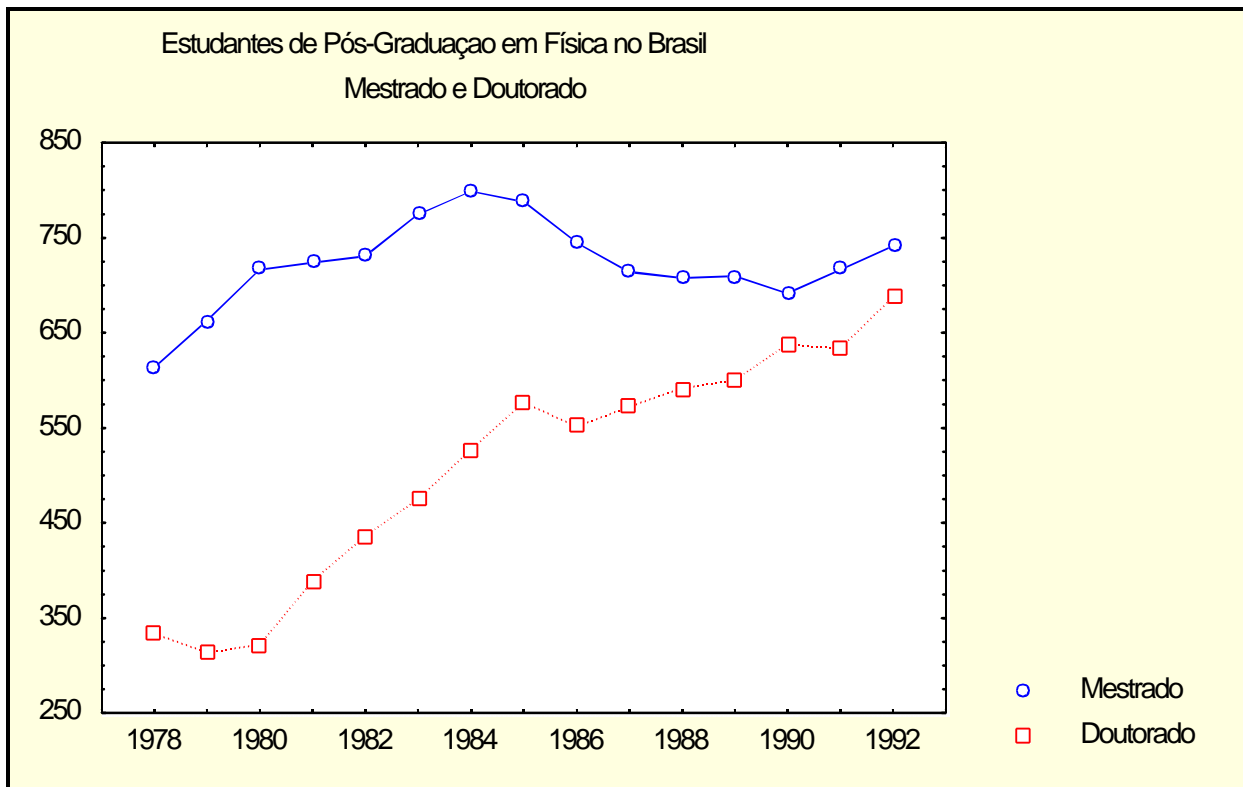
Figura 2

O fruto do contínuo esforço na formação pós-graduada reflete-se no acentuado aumento do número de teses de mestrado e doutorado no País. A Figura 3 mostra que o número de doutores formados, que estava na faixa de 30-50 por ano no período 1978-1984, passou a aumentar significativamente a partir de 1985, atingindo 100 doutores em 1991. Este fato explica a mudança na derivada da curva da Figura 1 ocorrida em 1986.

Teses de doutorado defendidas no país:
Teóricas e Experimentais
120
100
80
60
40
20
0
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
Teses Teóricas
Experimentais
Total Doutorados
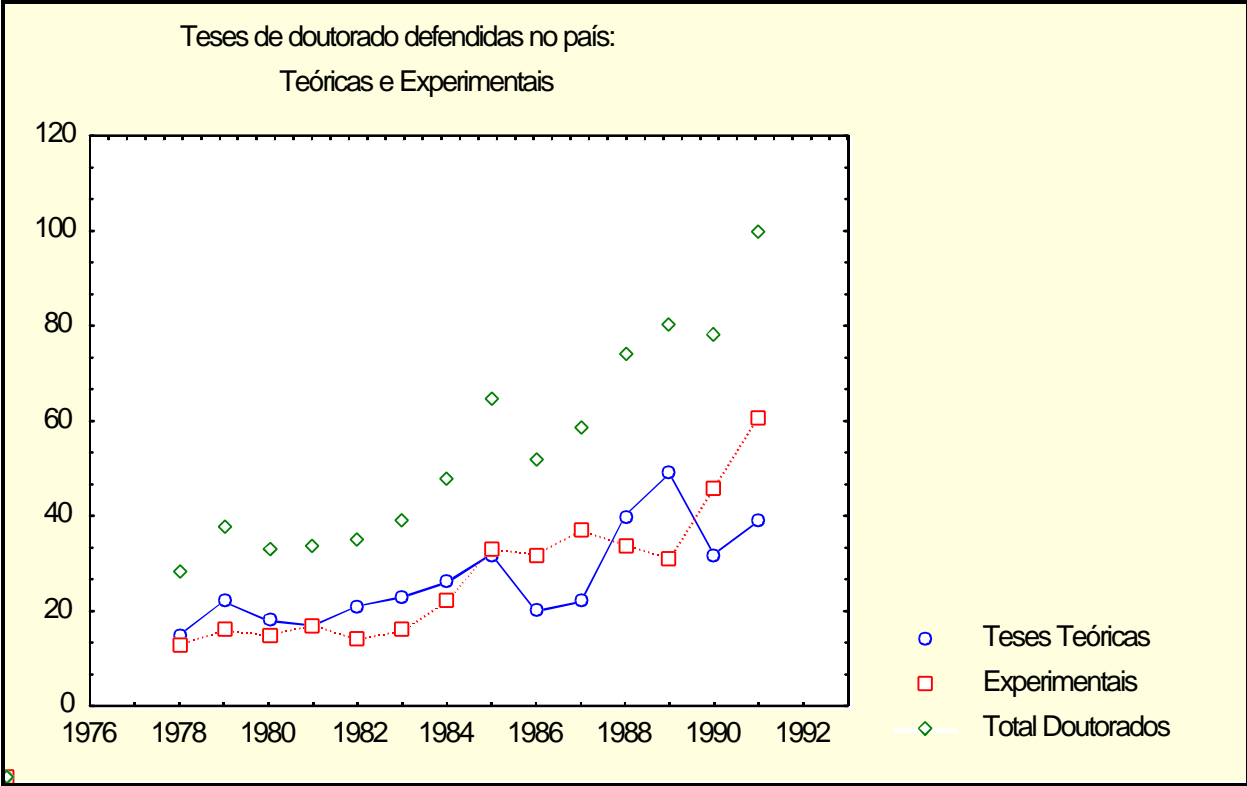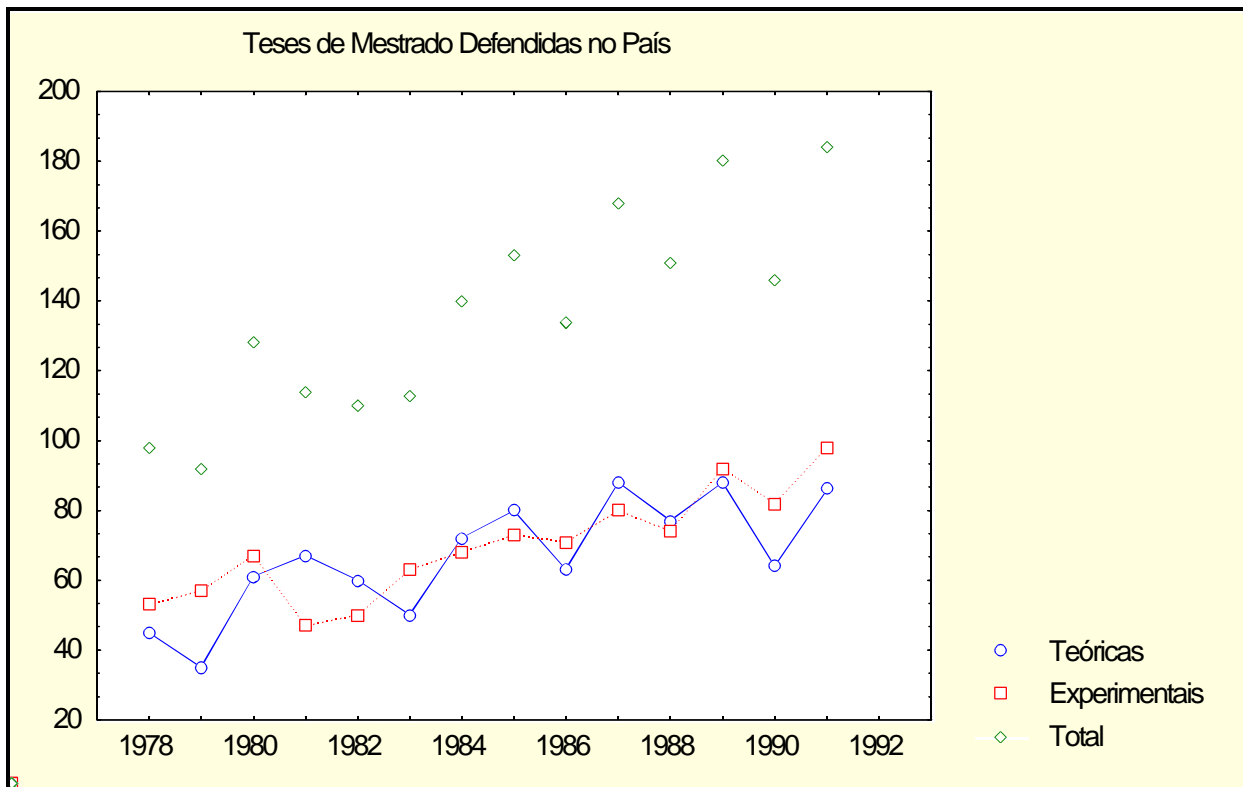
Figura 3a

Figura 3b

c) Investimentos na Infra-Estrutura de Pesquisa

Não foi possível obter dados históricos detalhados sobre os recursos investidos na pesquisa em Física no País. Entretanto, a partir das informações dos grupos de pesquisa contidas no documento "A Física na Próxima Década", pode-se estimar os investimentos globais feitos para a construção da infra-estrutura. As informações dos grupos são restritas a despesas realizadas com aquisição e/ou montagem de equipamentos, bibliotecas, oficinas de apoio, etc., não incluindo construção civil nem pessoal. A Figura 4 mostra a distribuição dos recursos investidos nas diversas áreas de pesquisa, em dólar atualizado. Os recursos globais totalizam US$ 127 milhões, tendo sido em sua maior parte provenientes do FNDCT na década de 70, e não levam em conta os dispêndios em custeio ou pessoal.
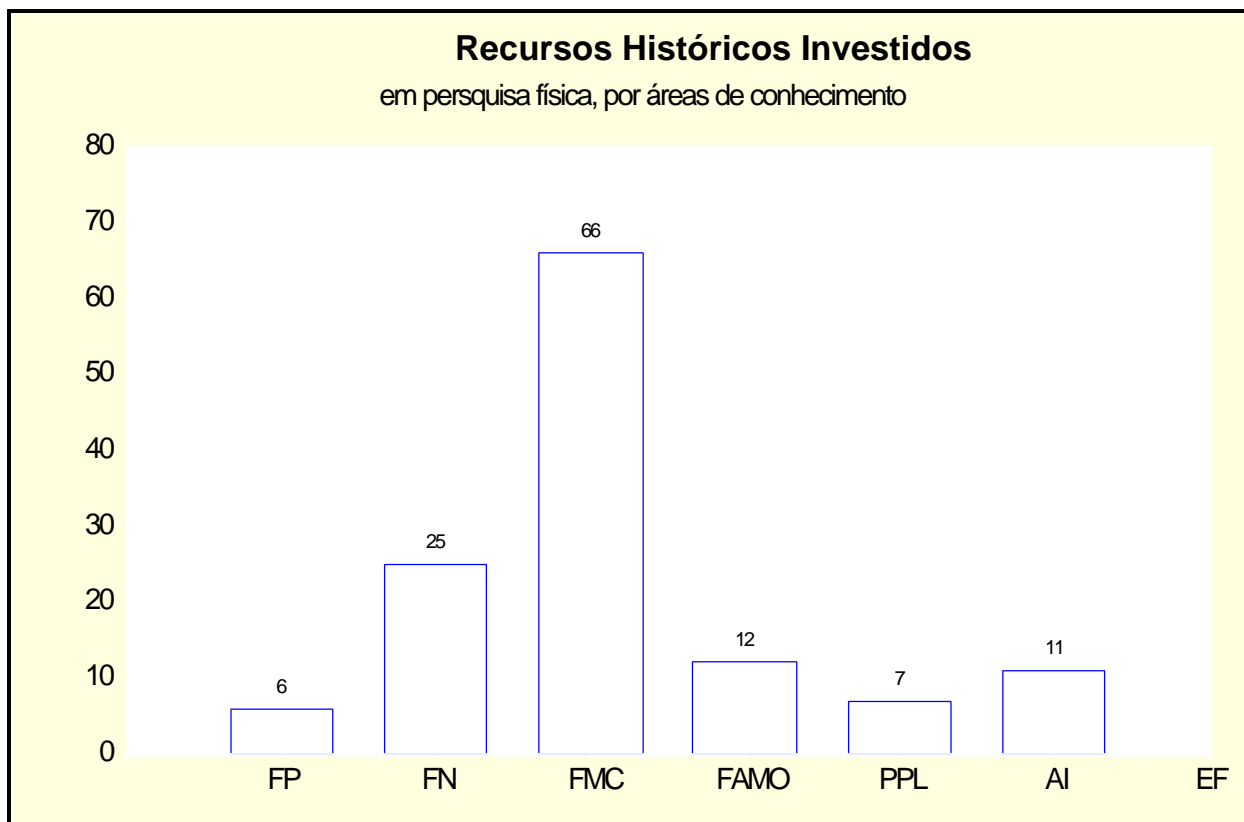
Figura 4.

d) Quadro Atual

A Tabela 1 apresenta dados sobre o número de pesquisadores, áreas de atuação e produção científica em 34 instituições que desenvolvem pesquisa em Física no País. No levantamento realizado outras instituições foram consultadas, mas somente aquelas com 4 ou mais doutores foram incluídas na Tabela. Observa-se que das 34 instituições da Tabela, 30 são institutos ou departamentos acadêmicos em instituições de ensino superior, das quais 20 são universidades federais.

Tabela 1 - Dados sobre instituições do País com atividade de pesquisa em Física

	DOCENTES/PESQUIS. EM 92				ÁREAS DE ATUAÇÃO							PRODUÇÃO EM 1991		
	Doutores			Mes-								Teses		
	Teor.	Exp.	Total	tres	FP	FN	FMC	AMO	FPL	AI	EF	Dr.	M.	Artigos
NORTE-NORDESTE														
UF Amazonas	5	1	6	7			X							12
UF Pará	3	4	7	6	X		X			X				?
UF Ceará	11	18	29	13			X	X		X			9	31
UF R.G.Norte	13	12	25	41			X			X			1	32
UF Paraíba	20	4	24	13	X	X	X					1	3	22
UF Pernambuco	11	15	26	0			X	X		X		4	7	47
UF Alagoas	9	4	13	6			X							5
UF Sergipe	3	1	4	5			X							4
UF Bahia	16	5	21	13			X	X					1	15
Sub-total	91	64	155	104								5	21	168
CENTRO-CENTRO OESTE														
UF Brasília	23	8	31	8	X	X	X	X					4	33
UF Goiás	5	9	14	10			X	X					0	3
Sub-total	28	17	45	18									4	36
SUDESTE														
UF Minas Gerais	19	31	50	12	X		X	X		X		2	8	54
UF Espirito Santo	10	6	16	14	X		X						0	15
CBPF	54	22	76	8	X	X	X	X	X	X		11	8	118
UE Rio de Janeiro	12	4	16	17	X	X	X							23
UF Fluminense	38	18	56	30	X	X	X		X		X	0	2	61
UF Rio de Janeiro	52	20	72	31	X	X	X			X	X	7	16	75
PUC-RJ	23	16	39	0	X		X	X		X		5	7	63
ITA	7	5	12	3			X	X	X			0	5	?
INPE	25	33	58	18			X		X	X		2	2	?
USP-São Paulo	75	96	171	12	X	X	X	X	X	X	X	22	34	224
IPEN-SP	0	47	47			X	X			X				19
UNESP-IFT	28	0	28	0	X	X	X					1	0	34
UNICAMP	39	94	133	1	X		X	X	X	X	X	28	29	224
LNLS	1	5	6	7			X			X				?
UNESP-Rio Claro	5	14	19	6			X				X			?
USP-São Carlos	17	35	52	2	X		X	X		X		13	16	68
UF São Carlos	14	17	31	7		X	X						6	15
Sub-total	419	463	882	168								91	133	932
SUL														
UF Paraná	8	10	18	11			X			X			7	12
UE Londrina	10	5	15	20	X	X	X				X			15
UE Maringá	6	4	10	21	X		X							10
UF Santa Catarina	16	12	28	23		X	X		X		X		7	10
UF R.G.Sul	33	35	68	11	X	X	X	X	X	X	X	4	12	79
UF Santa Maria	7	5	12	12		X	X							13
Sub-total	80	71	151	98								4	26	89
TOTAL	618	615	1233	388								100	184	1336

Chama atenção o fato de que apenas 4 são centros de pesquisa não acadêmicos. Observamos na Tabela 1 que o número total de físicos com doutorado nas 34 instituições é 1233. Com base em dados obtidos pela SBF em 1986[(4)], estimamos que o número de físicos doutores atuando em empresas é cerca de 30 atualmente, enquanto que nas instituições menores não incluídas na tabela é da ordem de 40. Além

desses, há cerca de 50 doutores com bolsas do CNPq na categorias pós-doutorado, recém-doutor e desenvolvimento regional, e que não tendo vínculo empregatício também não estão incluídos na Tabela 1. Com base nessas considerações, estimamos que o número total de doutores no País é, atualmente, cerca de 1350.

Geograficamente estes doutores estão distribuídos da seguinte forma:

Norte-Nordeste	12%
Centro-Centro Oeste	4%
Sudeste	72%
Sul	12%

Estes percentuais mostram que, como ocorre em outras áreas da ciência, grande parte dos doutores em Física está concentrada no Sudeste (72%), e mais particularmente no Estado de São Paulo (46%). A distribuição percentual dos físicos com doutorado nas diversas sub-áreas de pesquisa está mostrada na Figura 5. Estes números, bem como os outros dados da Tabela 1, são analisados na próxima secção.

Distribuição de Físicos nas Áreas da Física

Figura 5

3. AVALIAÇÃO DA ÁREA

3.1 O Quadro Institucional

Como vimos na Secção 2.2, apesar de sua concentração no Sudeste, a pesquisa em Física está disseminada em todo País. A concentração geográfica no Sudeste já foi maior, sendo também menos acentuada que em outras áreas da ciência. Comparativamente com outras áreas, o número de instituições com pesquisa em Física é elevado. São 34 com 4 ou mais doutores, dos quais 23 tem programas de mestrado e 14 tem programas de doutorado, tendo a grande maioria avaliação com nível A pela CAPES.

Quando comparada com a situação em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, Japão e Alemanha por exemplo, a distorção mais evidente do nosso quadro institucional é a enorme concentração dos físicos com doutorado nas universidades, cerca de 84%. Nos Estados Unidos este percentual é próximo de 33%, havendo 33% em laboratórios de pesquisa com missões específicas e os outros 33% na indústria. Dentre as instituições da Tabela 1, apenas INPE, IPEN e LNLS são laboratórios de pesquisa com missões específicas, uma vez que o CBPF é essencialmente um centro acadêmico de pesquisa básica. Estas três instituições contam com apenas 9% dos físicos com doutorado, comparado com 33% nos Estados Unidos e um percentual ainda maior na Alemanha. Há vários outros institutos federais (INT, IEAV/CTA, e IMETRO) e estaduais (ITEP em Pernambuco, CEPED na Bahia, CETEC em Minas Gerais e IPT em São Paulo, por exemplo) realizando atividades de pesquisa e serviços que empregam físicos. Apesar de contarem, juntos, com milhares de funcionários, eles tem ao todo não mais que duas dezenas de físicos com doutorado.

O quadro nas empresas é ainda pior. Nos Estados Unidos elas empregam cerca de 33% dos físicos com doutorado, dos quais apenas um terço realiza atividade de pesquisa em Física. O outros dois terços ou não estão envolvidos com Física ou não realizam pesquisa propriamente dita. No Brasil, por outro lado, levantamento de 1986[(4)] indicava que o número de doutores em Física nas empresas não ultrapassava 30. Considerando que este número não deve ter aumentado substancialmente, estimamos que o percentual de físicos doutores nas empresas é no máximo da ordem de 2-3% atualmente. Podemos identificar várias razões para este baixíssimo percentual. A primeira é a pouca atividade de pesquisa na indústria. No caso das empresas multinacionais, não há projetos de pesquisa e desenvolvimento nas filiais brasileiras. Seus

laboratórios de P&D estão localizados nos países centrais. Por sua vez, as empresas brasileiras, tanto privadas quanto estatais, importam "pacotes", "caixas pretas" e matrizes de fabricação, e de uma maneira geral também não tem atividades de P&D. Há apenas algumas exceções expressivas, como é o caso da Telebrás, que montou laboratórios de P&D com apoio da UNICAMP, sendo hoje uma das poucas empresas do mundo que detem a tecnologia de comunicação óptica. Outra razão é de ordem cultural. A carreira de físicos no Brasil é recente, sendo freqüentemente associada a atividades acadêmicas ou de ciência desvinculada da realidade mais imediata. É ao engenheiro que se recorre para preencher cargos técnicos ou realizar atividade de absorção/desenvolvimento de tecnologia. No entanto, este não é quadro nos países industrializados, onde as atividades em certas áreas de tecnologia de ponta na indústria são dominadas por físicos, como é o caso da óptica, dos materiais para eletrônica, da criogenia, e várias outras. Não fosse esta questão cultural, o espaço dos físicos na indústria nacional seria muito maior, mesmo porque a formação experimental do físico no Brasil é mais forte que a do engenheiro. Finalmente, outra razão para o baixo número de físicos doutores na indústria é que o mercado acadêmico ainda consegue absorver a grande maioria dos formados. Nos Estados Unidos, ainda hoje a primeira preferência do recém-doutor em Física é a carreira universitária, onde ele tem assegurada a possibilidade de fazer pesquisa em sua área. Porém, não há lugar para todos. Somente a partir dos anos 60, devido a enorme competição por empregos nas universidades e nos laboratórios do governo, os físicos passaram a ingressar em número significativo na indústria. No Brasil esta transição ainda não ocorreu. A indústria não procura físicos, pois desconhece sua utilidade, enquanto os físicos não querem ir para a indústria pois preferem as universidades e institutos de pesquisa.

Outra distorção no quadro institucional brasileiro, na opinião do relator, refere-se ao tamanho dos departamentos/institutos universitários. Nos Estados Unidos, pouquíssimos departamentos tem 100 docentes com posição permanente, sendo o número típico na faixa de 30-50. No Brasil quatro institutos de Física tem mais de 100 docentes, na UFRJ, UFF, USP-São Paulo e UNICAMP, sendo que na USP o número se aproxima de 200. Este grande número de docentes é, em geral, justificado pela necessidade do ensino de disciplinas de Física para diversos cursos profissionais. Esta necessidade tem levado os institutos/departamentos a contratarem docentes prematuramente, que adquirem estabilidade de emprego antes de mostrarem sua independência científica ou mesmo titulação pós-graduada adequada. Inevitavelmente, uma fração destes docentes nunca atinge esta independência e não contribui significativamente para a produção científica e a formação de pós-graduados. A baixa produtividade de alguns "megainstitutos" do País pode ser constatada na Tabela 1, mesmo sem levar em conta os docentes que não tem titulação pós-graduada. A solução encontrada por alguns departamentos do País, como PUC/RJ, UFPE e mais recentemente UFMG, para fazer face as necessidades de ensino sem "inchar" o corpo docente, tem sido a utilização de estudantes bolsistas de pós-graduação como auxiliares de ensino, a exemplo do que é feito em vários países desenvolvidos.

3.2 Massa Crítica e Capacidade de Reprodução

O número atual de doutores em Física no País, 1350, é pequeno para nossas necessidades de ensino e de pesquisa, qualquer que seja o critério de análise. Tomemos, por exemplo, a comparação com países desenvolvidos levando em conta o tamanho relativo da economia de cada um. Os Estados Unidos têm um PIB anual de US$ 5,3 trilhões e cerca de 33 mil físicos doutores. O PIB do Japão é cerca de metade do americano, enquanto o da Alemanha é um quarto, tendo eles um número de físicos que guarda com seus PIBs uma proporção semelhante a dos americanos, ou seja, aproximadamente 1000 físicos para cada US$ 160 bilhões de PIB. Podemos então considerar que este número representa um fator adequado para indicar a inserção correta das atividades dos físicos na economia. Como o PIB do Brasil é cerca de US$ 400 bilhões, por este critério o País deveria ter hoje 2500 físicos, um número 85% maior que o atual. Evidentemente este critério é bastante conservador pois nosso PIB atual é muito pequeno para as necessidades da população do País. Entretanto ele mostra que, mesmos para nossas atuais condições de desenvolvimento, o número de físicos no Brasil é insuficiente. Isto reflete-se nas atividades de pesquisa em várias áreas, que não tem massa crítica em algumas especialidades importantes, e na ausência de físicos em setores importantes da economia.

A análise da Tabela 1 também revela que o número de doutores é insuficiente até mesmo para suprir as necessidade de ensino superior. Seria desejável, no mínimo, que todos docentes com mestrado, em número maior que 400, fossem doutores. Outra argumentação é baseada no tamanho das instituições. Dentre as 30 instituições de ensino da Tabela 1, 14 contam com menos de 25 docentes com doutorado. O número adicional de doutores para que estas 14 instituições, bem como outras 6 que não constam da Tabela (UFPI, UFMA, UFRPE, UFMS, UFRRJ e UFPelotas) por exemplo, tenham 25 doutores cada, é 340, valor este muito próximo daquele anteriormente mencionado. Este número, somado ao de doutores existente atualmente, atingiria o total de 1700. Coincidentemente, este número é o mesmo que foi considerado desejável para as instituições de ensino no documento de Avaliação e Perspectivas do CNPq de 1982[(2)]. Evidentemente, para que a pesquisa em Física contribua mais efetivamente para o desenvolvimento do País é essencial haver mais laboratórios não universitários com missões específicas, bem como P&D nas empresas. Como foi assinalado anteriormente, nos países industrializados 70-75% dos físicos exercem atividade nestes setores. Assim sendo, o número de 2500 físicos obtidos pelo critério da proporção com o PIB, seria a massa crítica mínima desejável para o corrente ano. Contando que o PIB do País possa crescer a uma taxa média anual de no mínimo 2,0% nesta década, obtemos um número aproximado de 3000 doutores no fim da década. Coincidentemente, este é também o número mínimo de doutores para o final do século proposto pelo documento A&P de 1982[(2),] com base em argumentos diversos. Segundo o documento, "nenhum objetivo mais ambicioso poderá ser realisticamente contemplado se não pudermos contar com um número aproximado de 3000 doutores por volta do ano 2000".

Para alcançar esta meta no ano 2000 seria necessário adicionar ao sistema cerca de 1600 doutores em 8 anos, correspondendo a uma taxa média de 200 doutores/ano, o que é um número bem maior que nossa capacidade de formação nas condições atuais. No último ano foram formados cerca de 100 doutores em Física no País e 25 no Exterior, totalizando um número 40% menor que o necessário. Para agravar o quadro, dentre os formandos no Exterior uma parcela sem precedentes não está retornando ao País, e um número crescente de doutores está deixando o sistema de pesquisa por aposentadoria precoce. Entretanto, com uma reversão do quadro atual, a meta de 3000 doutores em torno do ano 2004 é perfeitamente viável. Para isto seria necessário que grande parte dos novos doutores se incorporassem ao sistema de formação pós-graduada, de modo a assegurar uma taxa constante de acréscimo de doutores. A Figura 6 mostra duas projeções para a evolução do número de doutores no País nos próximos anos feitas a partir da Figura 1 sob duas condições, ambas otimistas. A projeção da curva A é baseada num acréscimo constante no número de doutores em 100 por ano, o mesmo verificado nos últimos dois anos. Esta projeção, que nos faria atingir o número de 3000 físicos no ano 2010, supõe que as condições de financiamento da ciência no País retornem pelo menos aos níveis do período 1986-1988. Isto porque, a prevalecer o quadro de crise do período 1990-1992, as taxas de evasão e aposentadorias inevitavelmente aumentarão enquanto a de formação de doutores cairá. A curva B pressupõe condições mais favoráveis ainda, semelhantes a dos anos 70, sendo baseada numa taxa de crescimento de doutores constante e igual a 7% ao ano. Essa taxa constante resulta em aumento exponencial que nos possibilitaria atingir o número de 3000 doutores no ano 2004 e 4000 no ano 2010. Essa taxa constante implicaria num aumento contínuo do número de formandos, passando dos 125 doutores/ano atuais para 162 doutores/ano no ano 2000, o que é perfeitamente factível.

Projeções para o aumento do número de doutores em Física no País

Figura 6

3.3 Física Teórica e Física Experimental

Um fato que chama a atenção na Tabela 1 é que os doutores experimentais representam 50% do total. Nos países desenvolvidos a fração de físicos experimentais é muito maior, da ordem de 70-75%, pois a Física é fundamentalmente uma ciência experimental e é nesta atividade que existe maior oferta de empregos na indústria e nos laboratórios não universitários. Nos países subdesenvolvidos, entretanto, as dificuldades para montar laboratórios e realizar pesquisa experimental são muito grandes, o que em geral resulta numa ciência teórica, concentrada em universidades e até mais distante dos problemas concretos da sociedade. Este era também o quadro da Física no Brasil na década de 60. Felizmente, como decorrência dos investimentos no laboratórios de pequeno porte de Matéria Condensada feitos na década de 70, bons estudantes de doutorado têm sido atraídos para Física experimental, de modo que esta distorção tem diminuído. A fração de 50% de experimentais nos dias de hoje é significativamente maior que no início da década de 70. Outro indicador da redução da distorção está na Figura 3, que mostra que a proporção de teses experimentais defendidas, tanto no mestrado como no doutorado, aumentou continuamente na década de 80, tendo ultrapassado os 50% nos últimos 5 anos. É de fundamental importância que esta tendência se torne ainda mais acentuada de modo a fazer a proporção de físicos experimentais se aproximar da faixa de 60-70% no ano 2000. São esses físicos que, de uma maneira geral, encontrarão emprego nos laboratórios industriais, em empresas, nos centros de pesquisa com missões específicas e nos institutos estaduais.

3.4 Os Recursos para a Pesquisa e a Situação da Infra-Estrutura

Na avaliação da situação do financiamento da pesquisa em Física no País, novamente recorremos à comparação relativa com países desenvolvidos. Como mencionado anteriormente, há nos Estados Unidos cerca de 30 mil físicos doutores, dos quais 10 mil estão nas universidades e laboratórios nacionais de pesquisa, 10 mil trabalham em Física nos laboratórios industriais e 10 mil exercem atividades em outras áreas (consultorias, administração, outros campos da ciência, etc.). A pesquisa básica em Física nessas instituições é financiada principalmente por quatro agências federais, a National Science Foundation (NSF), a NASA, o Departamento de Energia (DOE) e o Departamento de Defesa (DOD). Nos últimos anos, essas quatro agências dispenderam em média com a Física cerca de US$ 900 milhões/ano (NSF 16%, NASA 11%, DOD 12% e DOE 39%, esta última principalmente com laboratórios nacionais). Isto corresponde a US$ 90 mil/doutor-ano em média nas universidade e laboratórios nacionais. Esta quantia inclui os salários dos pesquisadores dos laboratórios federais, mas não os dos professores universitários, que são pagos pelas universidades, mantidas pelos estados ou por recursos privados.

Por outro lado, no Japão a pesquisa nas universidades é quase totalmente financiada pelo Ministério da Educação. Lá existem em todas as áreas cerca de 450 mil cientistas, dos quais 230 mil estão na indústria, 180 mil nas universidades e 40 mil nos laboratórios. O orçamento do Ministério da Educação em 1986 foi de US$ 9 bilhões, o que corresponde a US$ 50 mil/cientista-ano. Este número é semelhante ao americano se levarmos em conta que ele inclui áreas menos dispendiosas que a Física.

No Brasil, os recursos federais para pesquisa, por doutor, são bem menores que nos países industrializados, qualquer que seja o critério utilizado para suas estimativas. Como mencionado na Secção 2.2c, os recursos globais investidos para a construção da infra-estrutura de pesquisa em Física foram de US$ 127 milhões, em valores atualizados. Supondo que eles correspondam a 30% dos recursos totais dispendidos nesta área, estes seriam US$ 423 milhões incluindo salários. Considerando que eles foram gastos em quase sua totalidade no período 1970-1992 e que, o número médio de doutores neste período foi 700, obtemos um investimento médio de US$ 27 mil/doutor-ano. Este valor é consistente com estimativas anteriores de US$ 55 mil/doutor em 1981[2], ano próximo do pico do financiamento de C&T no País, e US$ 30 mil/doutor-ano no período 1980-1985[4], uma vez que a crise dos últimos anos resulta numa diminuição da média do período 1970-1992.

Este baixo nível de financiamento reflete-se diretamente no estado atual da pesquisa em todas subáreas da Física. Nunca foi possível construir um acelerador de partículas competitivo, e conseqüentemente a pesquisa em partículas elementares no País é quase que inteiramente teórica. A pesquisa em Física Nuclear conta essencialmente com um acelerador no País, o Pelletron da USP instalado em 1972. Apesar de sua expansão recente, este acelerador está ultrapassado para os experimentos mais importantes nesta área. No caso de Plasmas, o laboratório nacional proposto pela comunidade da área aguarda há anos os recursos para sua implantação. Finalmente, em Física da Matéria Condensada, Física Atômica e Molecular e Áreas Interdisciplinares, cujos laboratórios foram montados em sua maior parte na década de 70, poucos investimentos de vulto foram feitos depois de 1981. Uma conseqüência é a obsolecência generalizada e a falta nos laboratórios do País de equipamentos modernos e de maior custo, como aqueles utilizados para fabricação e caracterização de inúmeros materiais artificiais para pesquisa de fronteira e para aplicações tecnológicas nos países desenvolvidos. Outra conseqüência muito preocupante da falta de recursos para investimento é o número crescente de novos doutores formados em Física Experimental que não conseguem montar laboratórios nos centros mais novos ou mesmo nas instituições já estabelecidas.

3.5 O Desempenho na Pesquisa

O desempenho dos físicos brasileiros nas atividades de pesquisa no País tem melhorado continuamente desde a década de 60. Em termos puramente quantitativos, foi constatado[(2)] que no período 1974-1977, enquanto o número de doutores cresceu de 63% o número de artigos publicados em revistas de circulação internacional e com árbitros duplicou. Em 1981 os 700 doutores no País publicaram 556 artigos, dando uma média de 0,8 artigo/doutor[(2)]. Em 1985 esta média passou para 0,9 artigo/doutor[(4)]. Em 1991, nas 29 instituições que deram informações sobre a produção científica (Tabela 1), foram publicados 1336 artigos por 1131 doutores, correspondendo a uma média de 1,18 artigo/doutor-ano. Esta média ainda não é satisfatória nos padrões internacionais, porém é substancialmente maior que no início da década de 70. É preciso considerar também que, comparativamente com físicos de países desenvolvidos, o esforço dos pesquisadores brasileiros com tarefas docentes e administrativas é maior. Outro fator importante que deve ser levado em conta na análise da produção científica é o estágio de desenvolvimento de muitos grupos de pesquisa do País, que ainda não dispõem de infra-estrutura de laboratórios satisfatória.

Não é apenas na quantidade que a produção científica da Física brasileira melhorou no decorrer das últimas décadas. A qualidade dos artigos publicados tem melhorado sensivelmente, o que pode ser constatado pelos seguintes indicadores qualitativos: aumentou a publicação de artigos nas revistas "Physical Review" e "Physical Review Letters", que têm os mais rígidos critérios para aceitação de trabalhos; vários físicos brasileiros tem mais de 20 citações/ano no "Science Citation Index" nos últimos anos. A melhoria da produção científica brasileira tem resultado em maior intercâmbio em "pé de igualdade" com físicos dos países desenvolvidos, medido pelo aumento de visitas mútuas de trabalho, convites para brasileiros apresentarem trabalhos em congressos internacionais e em capítulos de livros, e participação em comitês organizadores de congressos. Deve ser registrado também a contínua participação de físicos brasileiros nas comissões da IUPAP - International Union of Pure and Applied Physics, a maior organização mundial na área da Física.

O estágio de desenvolvimento e o desempenho qualitativo da pesquisa nas diversas subáreas da Física foram recentemente analisadas por comissões de especialistas que elaboraram o documento "A Física na Próxima Década"[(5)]. As avaliações que se seguem são baseadas em dados e análises contidas naquele documento, porém são muito mais sucintas e exprimem também as opiniões do relator.

a) Física de Partículas Elementares e Áreas Correlatas

Esta subárea tem 50 anos de tradição no Brasil, tendo dado relevante contribuição tanto em problemas teóricos como em descobertas experimentais. Na década de 50 a quase totalidade dos físicos brasileiros trabalhava nesta subárea, porém nos últimos 30 anos ela perdeu importância relativa. Hoje ela conta com cerca de 200 físicos com doutorado atuando no País, o que representa aproximadamente 15% dos doutores em Física. Como a pesquisa experimental de fronteira nesta área é feita em torno de grandes aceleradores, não existentes no País, a atividade científica aqui é essencialmente teórica. Apenas 15% dos pesquisadores da área são experimentais. Estimou-se que todos os recursos investidos em infra-estrutura dos grupos experimentais nos País não ultrapassa a casa dos US$ 6 milhões.

Como mostra a Tabela 1, a pesquisa nesta subárea é bastante difundida no País: há 17 instituições com atividade em Física de Partículas e Áreas Correlatas. A pesquisa teórica cobre uma grande diversidade de temas(5), tais como teoria dos campos, fenomenologia e modelagem de interações, propriedades de partículas, relatividade e gravitação, fisíca matemática e física geral. A pesquisa experimental, por outro lado, é restrita a apenas 4 instituições (USP, UNICAMP, CBPF e UFF). Ela é realizada utilizando raios cósmicos ou aceleradores. Como os pequenos aceleradores existentes na USP e no CBPF não possibilitam a realização de pesquisa de fronteira, os grupos brasileiros mais ativos tem desenvolvido fortes colaborações internacionais com grupos que trabalham nos grandes aceleradores de partículas, como o do CERN em Genebra, o SLAC em Stanford e o do Fermilab, em Chicago. Devido ao enorme grau de informatização dos experimentos com aceleradores e a transmissão de dados por correio eletrônico, os grupos brasileiros tem tido acesso cada vez mais rápido aos resultados obtidos podendo desenvolver pesquisa de alto nível.

b) Física Nuclear

A pesquisa nesta subárea está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo. As poucas instituições fora dessa região com atividade em Física Nuclear tem um número reduzido de doutores. Em algumas delas, como a UFRGS e a PUC-RJ, houve drástica redução da pesquisa na área nos últimos anos, com a "conversão" de físicos mais experientes para outras áreas como Física da Matéria Condensada, Atômica e Molecular. Em outras, como UFPE, o grupo de Física Nuclear extinguiu-se com a transferência para outros centros de alguns pesquisadores e a aposentadoria dos demais. No momento há cerca de 130 físicos com doutorado na área da Física Nuclear, o que representa cerca de 10% do total, sendo a metade de teóricos e metade de experimentais.

A pesquisa básica experimental em Física Nuclear se concentra em torno dos aceleradores dedicados instalados na USP, notadamente o Pelletron, embora também exista atividade no cyclotron do Instituto de Energia Nuclear, no campus da UFRJ, e do reator do IPEN. A exemplo do que ocorre com a pesquisa em partículas elementares, nos últimos anos um número crescente de pesquisadores vem utilizando instalações experimentais no exterior. Estima-se que o total investido na infra-estrutura dos grupos experimentais tenha sido de US$ 25 milhões.

A pesquisa experimental junto as máquinas da USP é dirigida para duas grandes linhas, que são o estudo de propriedades e fenômenos nucleares através de processos eletromagnéticos ou de processos induzidos pelas interações fortes. Apesar das dificuldades com o fluxo de recursos para cobrir as despesas de operação e manutenção dessas máquinas maiores, as instalações da USP são utilizadas por um número significativo de pesquisadores de outras instituições, não só do Brasil mas até de países vizinhos, como Chile e Argentina. A pesquisa teórica em Física Nuclear, não sendo tão dependente de recursos financeiros, cobre um elenco mais diversificado de temas, sendo também mais distribuído por outras instituições do País. Como mostra a Tabela 1, há 14 instituições com pesquisa em Física Nuclear. Na maioria delas, entretanto, os grupos tem menos de 5 doutores, sendo quase todos teóricos.

c) Física da Matéria Condensada

A Física da Matéria Condensada recebeu um grande impulso no País a partir da década de 70 com o decisivo apoio dos órgãos de fomento, notadamente a FINEP, por causa de suas possíveis conseqüências no desenvolvimento tecnológico. Seu progresso continuou na década de 80 apesar da crise no financiamento da pesquisa neste período e da perda prematura de seus líderes mais experientes. Alguns faleceram (Costa Ribeiro e Porto), outros mudaram de área da ciência e vários buscaram ocupações em outros ramos de atividade. No total há cerca de 730 doutores nesta sub-área, representando 53% do total, dos quais cerca de 70% são experimentais e 30% são teóricos. Esta é a especialidade da Física com a melhor distribuição entre atividades teóricas e experimentais no País, e também a única presente em todas as instituições da Tabela 1, sendo que em muitas delas há grupos consolidados que atingiram qualidade internacional.

A pesquisa no País nesta sub-área abrange várias classes de materiais e de técnicas de investigação. No momento há cerca de 21% dos doutores desta sub-área envolvidos com materiais semicondutores, que são os mais importantes do ponto de vista de aplicações. Este percentual relativamente alto resulta do esforço deliberado feito na década de 80 para intensificar a pesquisa desses materiais no País, que era relativamente pequena nos anos 70. Outra especialidade bastante desenvolvida é a Física Estatística e Teoria de Sólidos, na qual atuam cerca de 23% dos doutores desta sub-área, que têm recentemente utilizados técnicas modernas de simulação de materiais por computador. A distribuição percentual aproximada dos outros doutores por classe de materiais ou técnicas é a seguinte: Magnetismo e Materiais Magnéticos (11%); Supercondutividade (6%); Óptica e Materiais Optoeletrônicos (9%); Cristais Líquidos e Polímeros (3%); Vidros, Cerâmicas e Cristais (5%); Cristalografia e Estrutura de Sólidos (7%); Ressonância Magnética (8%); Mossbauer e outras técnicas de caracterização (8%).

Devido a característica de pequeno porte de laboratórios para investigar propriedades de materiais, os grupos experimentais conseguiram montar laboratórios em quase todas instituições. Estima-se que o total investido neste laboratórios e na infra-estrutura de apoio atinja US$ 66 milhões. Devido a enorme variedade de propriedades que podem ser estudadas, não existe propriamente uma superposição de atividades dos vários grupos. Pelo contrário, existe uma complementaridade de técnicas de investigação que têm estimulado bastante trabalhos em cooperação. Isto tem resultado num grande amadurecimento da área, possibilitando a publicação de artigos científicos nos melhores periódicos internacionais em linhas de fronteira, tais como: super-redes de semi-condutores; efeito Hall quântico; He superfluído; sistemas magnéticos desordenados; fenômenos críticos e transições de fase; turbulência e caos; supercondutividade em altas temperaturas, etc. Finalmente, é importante registrar que a proximidade dos problemas de tecnologia avançada tem feito muitos físicos da matéria condensada interagirem com empresas, colaborando em questões de absorção de tecnologia P&D e até mesmo criando empresa própria ou propiciando a instalação de laboratórios industriais. Os exemplos mais notáveis são a criação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás e de inúmeras empresas de alta tecnologia em torno da UNICAMP e das universidades estadual e federal em São Carlos.

d) Física Atômica, Molecular e Óptica

A pesquisa nesta sub-área é relativamente recente no País. Ela está crescendo rapidamente e atualmente envolve físicos e químicos em cerca de 11 instituições. Estima-se que cerca de 100 doutores em Física trabalham na área, o que corresponde a 8% do total. No lado teórico a ênfase é no cálculo de estrutura eletrônica de átomos e moléculas, utilizando computadores e métodos de cálculos cada vez mais sofisticados. No lado experimental é interessante observar que alguns grupos, originalmente de outros campos, estão atualmente na subárea. É o caso do grupo de Física Nuclear da PUC/RJ, que ao constatar que seu acelerador Van de Graaff ficou obsoleto para investigação de núcleos, passou gradualmente para atividades em Física Atômica. Outros exemplos são os grupos de óptica da UFPE e da USP-São Carlos, nos quais vários pesquisadores estão utilizando lasers para investigação de propriedades de átomos e moléculas. Estas "conversões" foram possíveis porque as técnicas experimentais utilizadas para estudar átomos e moléculas são essencialmente as mesmas usadas na investigação de outros aspectos da matéria. É possível que, no lado experimental, outros grupos de Física Nuclear ou de Matéria Condensada passem no futuro a se envolverem com os novos problemas de Física Atômica e Molecular.

e) Física de Plasmas

Esta é também uma área da atividade recente no País, iniciada na década de 70. Mais do que qualquer outra sub-área, ela está fortemente concentrada no eixo Rio-São Paulo, em torno de poucas instituições. Nela atuam cerca de 50 doutores, correspondendo a 4% do total, que se dividem igualmente entre teóricos e experimentais. No lado teórico há competência a nível internacional em certas linhas, como interação eletromagnética com plasmas, estabilidade magnetohidrodinâmica e física de confinamento magnético, por exemplo. A pesquisa experimental de maior vulto é feita em torno de máquinas de médio porte construídas no INPE, USP e UNICAMP. Estima-se que o total investido na infra-estrutura experimental desta área em todas as instituições tenha sido de US$ 7 milhões.

Motivado pelo potencial de geração de energia por fusão termonuclear controlada, o Ministério das Minas e Energia criou em 1982, através da CNEN, um Programa de Física de Plasma, que impulsionou as atividades nesta área em várias instituições. A articulação da comunidade da área em torno deste programa levou o MCT a elaborar, em 1987, um Programa Nacional de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada, prevendo inclusive a criação de um laboratório Nacional de Plasmas. Devido a dificuldades financeiras e até políticas, estas relativas a definição do local do laboratório, até hoje este plano não saiu do papel.

f) Áreas Interdisciplinares

Há no País atualmente cerca de 70 físicos doutores trabalhando em diversas áreas interdisciplinares, representando aproximadamente 5% do total de doutores. Embora este seja um número ainda pequeno, ele representa um aumento significativo se comparado com o do início da década de 80. Este número reduzido de pesquisadores não decorre da falta de interesse ou pouca importância dessas áreas. Ao contrário, os problemas de pesquisa básica nessas áreas são em geral muito interessantes e desafiadores, e elas costumam ter grande potencial de aplicação. A maior dificuldade para a formação e manutenção de grupos de trabalho nessas áreas reside na necessidade de se contar com especialistas de diferentes subáreas interessados em problemas comuns e com apoio financeiro para montar laboratórios com técnicas variadas.

As áreas interdisciplinares com maior atividade no País atualmente são: Física Biológica; Físico-Química; Física Médica e Instrumentação. Em algumas dessas áreas estão sendo feitos trabalhos de fronteira que são publicados nas melhores revistas internacionais. Em outras, por outro lado, as atividades são predominantemente de absorção e domínio de tecnologias para aplicação rotineira a situações do País. As atividades na área de instrumentação com freqüência tem resultado em produtos comercializáveis que são repassados para indústrias existentes ou que propiciam até a criação de novas empresas. Duas áreas importantes nas quais há pouco envolvimento de físicos são ciência de materiais e fontes renováveis de energia. Estas áreas tem enorme deficiência de recursos humanos no País, apesar de sua importância estratégica para nosso desenvolvimento.

Há um empreendimento de vulto no País com característica interdisciplinar, qual seja, a fonte de luz Síncroton que está sendo construída no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. Esta é uma máquina que consiste de um acelerador de elétrons e de um anel de armazenamento. Neste anel os elétrons circulam em alta velocidade e produzem radiação eletromagnética de grande intensidade, cobrindo extensa faixa de energia. Esta radiação pode ser utilizada para inúmeras finalidades desde a pesquisa básica em sólidos, átomos, moléculas e materiais biológicos, à aplicações variadas como fotolitografia para fabricação de circuitos eletrônicos de alta integração. A fonte de luz do LNLS está sendo construída por uma equipe de físicos, engenheiros e técnicos bem coordenados, utilizando inúmeros componentes desenvolvidos em parceria com a indústria nacional. Já foram investidos cerca de US$ 11 milhões no projeto. Ele representa a primeira experiência brasileira na construção e, posteriormente, na operação de um laboratório de física de porte, com caráter nacional, para ser utilizado por grande número de usuários. Seu sucesso ou insucesso, certamente irá influenciar futuras decisões relativas a outros grandes empreendimentos.

g) Ensino Básico de Física

Como ressaltamos anteriormente, esta não é, propriamente, uma sub-área de pesquisa como as apresentadas anteriormente, pois não produz novos conhecimentos de fronteira na Física. No entanto, como no Brasil ela envolve cerca de 60 doutores em física (5% do total), merece ser analisada individualmente.

Não resta dúvida de que o ensino básico de Física, tanto no segundo grau quanto no início do curso universitário, é da maior importância para a formação geral do cidadão e a formação de profissionais em diversas áreas da Ciência e Tecnologia. Nos países desenvolvidos as escolas secundárias dispõem de laboratórios de ensino equipados com materiais encontrados comercialmente, e com professores bem formados e bem remunerados. No ciclo básico dos cursos universitários o ensino é comandado por professores experientes, que na sua totalidade exercem, ou já exerceram, atividades de pesquisa em alguma área de fronteira. Muito deles, após anos de experiência, tornam-se especialistas no ensino básico universitário e contribuem também para a melhoria do professorado e do material didático dos cursos secundários. No Brasil, a degradação do ensino secundário e a expansão das universidades ocorridas principalmente na década de 70, tornaram agudos os problemas de ensino, fazendo com que vários físicos se preocupassem com ele. Na falta de maior número de físicos experientes dedicados as questões do ensino, foram criados nos últimas duas décadas vários programas de mestrado e dois de doutorado para a formação de especialistas em ensino. Aos doutores formados nesses programas somam-se aqueles que atuavam em outras áreas e hoje dedicam-se somente às questões do ensino. Esta comunidade tende a supervalorizar as atividades de ensino e seu caráter de pesquisa original. A isto se contrapõe a crítica exacerbada feita a esta sub-área por parte de vários pesquisadores das áreas de fronteira. O relator tem uma posição intermediária, reconhecendo a importância da universidade atuar no sentido de melhorar o ensino básico de ciências, porém tendo o cuidado de limitar a expansão dos grupos de especialistas exclusivos do ensino. Projetos de melhoria de material didático, tanto livros como kits de laboratório, podem ser, devem ser, e tem sido, produzidos com a participação de pesquisadores das áreas de fronteira. Esta participação deve ser encorajada ainda mais. O número de programas de pósgraduação em ensino nas instituições de Física, 7 de mestrado e 1 de doutorado (USP), é mais que adequado, principalmente no nível de doutorado. Sua expansão exagerada deve ser evitada para não acarretar na formação de um número demasiado de especialistas em ensino, que nunca participaram da atividade de geração de conhecimento novo em Física. Por outro lado, não há qualquer objeção a expansão dos programas de pós-graduação junto aos departamentos/faculdades de educação com a participação direta dos físicos, visando principalmente formar e aperfeiçoar professores secundários.

h) Atividades em Outras Áreas

A divisão de áreas da Física adotada neste documento foi a considerada mais adequada para descrever a situação da Física no Brasil. Ela coincide com a divisão adotada pela Sociedade Brasileira de Física no documento "A Física no Brasil"[(4)] e engloba seguramente, as atividades de 99% dos físicos brasileiros ativos. É preciso registrar, porém, que ela não é detalhada o suficiente para explicitar certos campos de pesquisa, os quais a rigor não se enquadram nas sub-áreas específicas anteriormente mencionadas. Este é o caso de sub-áreas teóricas como Física Matemática, Cosmologia, Relatividade e Gravitação, nas quais trabalham pesquisadores no Brasil. Como as atividades de muitos físicos teóricos que atuam nessas sub-áreas tem interface com a Física de Partículas, elas foram englobadas no termo "Áreas Correlatas" no item a), a exemplo do que é feito no documento "A Física na Próxima Década"[(5)]. Há também certos campos importantes com pouquíssima atividade no Brasil, como dinâmica de fluídos, cujos fenômenos não lineares estão sendo muito estudados atualmente. Contudo, há uma singularidade que não deve deixar de ser mencionada, qual seja, a de áreas chamadas clássicas, como eletromagnetismo e óptica. Alguns físicos teóricos no Brasil deram grandes contribuições a estas áreas, como Gleb Wataghin nas décadas de 30 e 40, Guido Beck nos anos 50 e 60 e posteriormente H. Moysés Nussenzveig. Nussenzveig é um dos físicos brasileiros mais citados atualmente e um dos poucos que receberam prêmios internacionais importantes em toda nossa história. Em 1986 ele foi agraciado com o prêmio Max Born da Americam Optical Society por seus trabalhos em espalhamento de luz por pequenas partículas, relacionado, entre outros com o fenômeno da aurora boreal.

4 - RECOMENDAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA ÁREA

As proposições e recomendações que seguem incorporam antigas recomendações de comissões de físicos expressas nos documentos "Avaliação e Perspectivas" do CNPq[1,2], adaptadas ao momento atual, bem como proposições de alocação de recursos por áreas apresentadas nos documentos "A Física na Próxima Década" da SBF[3]. Entretanto, todas elas tem o viés da opinião do relator, que assume inteira responsabilidade por sua redação final.

As recomendações são apresentadas em quatro grupos distintos. O primeiro se refere a questões gerais do financiamento da pesquisa. O segundo apresenta recomendações específicas para o financiamento de sub-áreas da Física. O terceiro contém proposições relativas a formação de recursos humanos. Finalmente o último contém recomendações específicas sobre diversos assuntos. Todas recomendações são precedidas por um pequeno preâmbulo explicativo de sua motivação.

4.1 Recomendações Gerais para o Financiamento da Pesquisa na Física

a) Laboratórios Associados

No documento de A&P do CNPq DE 1978[1]. época em que a FINEP atuava de forma satisfatória com financiamentos bienais, já se chamava a atenção para a necessidade de garantir às instituições recursos por prazo de cinco anos, visando possibilitar o planejamento adequado de projetos de pesquisa. Desde então a comunidade científica tem reivindicado a criação de entidades de pesquisa associadas ao CNPq, como forma de garantir a estabilidade do financiamento a longo prazo. Com a crise aguda dos últimos anos, esta proposta ganha importância.

Recomendação 1: Entidades/laboratórios Associados

> A criação de Entidades/Laboratórios Associados ao MCT/CNPq, com uma rubrica específica no Orçamento da União, é uma medida inadiável. Esta parece ser a forma mais adequada de garantir aos grupos/instituições de reconhecida competência em pesquisa, estabilidade financeira a médio prazo. O orçamento das entidades selecionadas deve incluir primordialmente o custeio de sua operação, deixando no máximo 20% para investimentos. As solicitações de investimento devem ser submetidas pelos grupos de pesquisa aos órgãos/programas de fomento para projetos específicos de pesquisa/desenvolvimento.

b) Volume de Recursos para a Pesquisa em Física

De acordo com a análise apresentada na Secção 3.4, mesmo sem levar em conta a crise aguda dos últimos 3 anos, o dispêndio médio por doutor em Física caiu continuamente durante a década de 80. Em conseqüência, a maior parte da infra-estrutura de pesquisa instalada nos anos 70 está se tornando obsoleta, ameaçando comprometer seriamente o futuro da pesquisa experimental no País. Além disso, muitos jovens doutores sequer conseguem iniciar pesquisa experimental, principalmente nas instituições mais novas. É essencial que os órgãos federais de fomento, em especial CNPq e FINEP, aportem recursos específicos para a Física em volume satisfatório.

Recomendação 2: Recursos para a Física

> Considerando um valor médio por doutor US$ 40 mil/ano, que ainda é baixo nos padrões dos países desenvolvidos, recomenda-se que seja alocado à Física nos próximos anos, pelo CNPq e pela FINEP, o mínimo de US$ 54 milhões por ano.

c) Forma de Distribuição de Recursos para a Pesquisa

Quando dispunha de recursos adequados, a forma de distribuição adotada pelo CNPq apoiando projetos individuais ou de pequenas equipes submetidos de acordo com certo calendário, era considerada perfeitamente satisfatória. Por outro lado, no caso da FINEP, a concessão de vultosos financiamentos institucionais, que se mostrou adequada na década de 70 quando a infra-estrutura básica estava em construção, tornou-se inadequada nos últimos anos. Os projetos institucionais são em geral constituídos de um somatório de subprojetos, cujos resultados são difíceis de avaliar. Além disso, o fato das instituições apresentarem seus pleitos em diferentes épocas torna impossível a análise comparativa. A "desarrumação" provocada pela crise dos últimos três anos deve ser aproveitada para mudar a sistemática de financiamento da FINEP.

Recomendação 3: Operação do FNDCT/FINEP

A FINEP deve estabelecer um calendário para aceitação, julgamento e aprovação de pedidos por área do conhecimento, financiando projetos através de **programas**. Alguns programas na área da Física, sugeridos tanto para FINEP como para o CNPq são:

Programa de Infra-estrutura Básica para Pesquisa
Programa de Física Nuclear e Partículas.
Programa de Física Atômica, Molecular, Óptica e
Matéria Condensada.
Programa de Plasmas.
Programa de Áreas Interdisciplinares e Aplicações.
Programa de Ensino Básico e Divulgação da Física.

4.2 Proposição de Programas para a Área de Física

a) Programa de Infra-estrutura Básica para Pesquisa

As bibliotecas, os computadores e as oficinas básicas constituem parte essencial da infra-estrutura de todas instituições que desenvolvem pesquisa. Nos últimos anos todas instituições, com exceção talvez de algumas do Estado de São Paulo, interromperam assinaturas de revistas e não conseguiram adquirir livros novos necessários. Várias tentativas de assegurar recursos contínuos do MEC para bibliotecas das universidades federais tem falhado. É essencial que as agências do MCT estabeleçam um programa de longo prazo destinado a manter atualizado os acervos das bibliotecas. Considerando o porte das instituições, seguindo a sistemática do CA de Física do CNPq, pode-se agrupar as bibliotecas em três categorias: Grandes, Médias e Pequenas. Com base no número de doutores da Tabela 1, propõe-se que o programa contemple:

11 grandes com US$ 100 mil/ano
11 médias com   US$ 60 mil/ano
12 pequenas com US$ 30 mil/ano

O número acima corresponde a US$ 2,120 milhões por ano para Bibliotecas, ou US$ 10,600 milhões por um período de 5 anos.

No caso de computadores, que se tornaram ferramentas indispensáveis para simulação e computação científica em todas as sub-áreas da Física, há o exemplo da iniciativa bem sucedida do CNPq em 1991 adquirindo um conjunto de estações de trabalho para equipar os grupos de pesquisa do País. É

importante que um programa como este tenha caráter permanente, de modo a possibilitar a atualização dos equipamentos dos grupos que demonstrem maior competência e vocação em computação científica.

Agrupando-se os investimentos em bibliotecas, oficinas e em computação científica, propõe-se que o programa de infra-estrutura contemple, em cinco anos, a quantia de US$ 20 milhões.

b) Programa de Física Nuclear e Partículas

A construção de aceleradores de partículas para pesquisa de fronteira em altas energias é extremamente complexa e dispendiosa e não deve ser cogitada no Brasil nos próximos anos. A pesquisa nesta área deverá continuar sendo primordialmente teórica, porém é importante aumentar a capacitação do País nas atividades experimentais envolvendo aceleradores. Isto deve ser feito através de intensa colaboração internacional com grandes laboratórios, como CERN e Fermilab, visando o treinamento de técnicos, estudantes e pesquisadores. Paralelamente é preciso equipar os principais grupos de pesquisa na área com recursos computacionais modernos distribuídos, tanto para cálculos teóricos, quanto para aquisição de dados dos laboratórios internacionais. Finalmente, é importante manter o apoio para a operação e a continuada melhoria dos aceleradores de baixa energia já existentes, através de projetos que estimulem a interação com a indústria brasileira.

Na área da Física Nuclear é importante apoiar os projetos de expansão das máquinas mais importantes, os aceleradores Pelletron e Microtron da USP, para os quais estão previstos recursos federais, estaduais e de empréstimos do BID. Também nesta área deve haver uma política nacional de apoio a projetos brasileiros envolvendo a utilização de instalações experimentais no Exterior.

Os recursos totais previstos para a Física Nuclear e de Partículas nos próximos 5 anos são US$ 57 milhões. Considerando que a pesquisa experimental nesta área é fortemente concentrada em São Paulo, espera-se que metade deste valor seja coberto pela FAPESP e pela USP.

O valor do orçamento proposto para o programa federal de Física Nuclear e Partículas é US$ 28,5 milhões para os próximos 5 anos, dividido entre CNPq e FINEP.

c) Programa de Física Atômica, Molecular, Óptica e Matéria Condensada

Enquanto as atividades de pesquisa experimental de fronteira em Física Nuclear e Partículas envolvem necessariamente grandes máquinas e são feitas por equipes numerosas de físicos e engenheiros, a maior parte das pesquisas em Física Atômica, Molecular e Matéria Condensada é feita por equipes pequenas, em laboratórios de pequeno ou médio porte. Esta é uma das razões pelas quais estas áreas, principalmente Matéria Condensada, difundiram pelo País. Outra razão é a importância tecnológica de vários temas nela estudados, como as propriedades de materiais semicondutores, magnéticos, supercondutores, optoeletrônicos, cristais líquidos, cerâmicos, etc.

Os grupos de pesquisa nestas áreas, que contam atualmente com cerca de 800 físicos doutores, estão capacitados a embarcar em projetos mais ambiciosos de preparação e investigação de materiais sofisticados. Para isto será necessário implantar laboratórios de médio porte, com equipamentos de custo entre US$ 100 mil e US$ 1 milhão, que são comuns nos laboratórios dos países desenvolvidos e raros no Brasil. Isto possibilitará a melhoria do nível da pesquisa básica e a formação de maior número de pesquisadores para universidades, centros de pesquisa e empresas, o que contribuirá de maneira decisiva para o domínio de técnicas e processos de grande importância tecnológica. Os grupos de pesquisa prevêem a necessidade de recursos da ordem de US$ 225 milhões para os próximos 5 anos, dos quais cerca de 30% provavelmente poderão ser providos pelas fundações estaduais de amparo à pesquisa.

O custo proposto para o Programa Federal para esta sub-área é US$ 157,5 milhões nos próximos 5 anos, para execução pelo CNPq, FINEP e PADCT (sub-programa de Novos Materiais).

d) Programa de Plasmas

Um trabalho contínuo e competente tem sido desenvolvido, no Brasil, em Física de Plasmas, com ênfase na área de confinamento magnético de plasma para fusão. Os programas de pesquisa nesta área foram objeto de amplos debates, nos últimos 12 anos, na comunidade científica brasileira e internacional. Áreas correlatas, como aplicações tecnológicas de plasmas, sistemas de aquisição e análise de dados experimentais e controle vem sendo também desenvolvidas. Além dos projetos atuais em desenvolvimento, há, na área de fusão termonuclear controlada, dois projetos de novos tokamaks: o TBR-2, na USP, e o PROTO-ETA no INPE.

Após projetar, construir e operar com sucesso o pequeno tokamak TBR-1, o grupo da USP está desenvolvendo o projeto de um novo tokamak, em colaboração com o Instituto de Física de Plasmas da Academia Chinesa de Ciências, que permite ao grupo continuar participando das pesquisas a nível internacional (com colaboração com outros grupos nacionais e internacionais) e formando pessoal qualificado. A máquina escolhida, de porte médio, é versátil o suficiente para permitir um trabalho de pesquisa competitivo na época em que entrar em funcionamento. Além do interesse científico este projeto possibilitará a capacitação aos grupos de pesquisa na construção de sistemas de porte médio, com a participação de empresas nacionais de engenharia.

No laboratório Associado de Plasma do INPE está sendo desenvolvido, em colaboração com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, o projeto do PROTO-ETA, um tokamak de características diferentes do TBR-2. O objetivo principal é o de caracterizar a performance desse tipo de máquina, e as propriedades do plasma ao atingir o equilíbrio, com correntes de plasma e temperatura relevantes.

Para custear a construção das duas máquinas acima e apoiar os outros grupos de plasma, serão necessários recursos da ordem de US$ 25 milhões nos próximos 5 anos. É razoável contar que FAPESP, USP e INPE assumam 40% deste montante.

O Programa Federal de Plasmas deve prever para os próximos 5 anos a quantia de US$ 15 milhões.

e) Programa de Áreas Interdisciplinares

A pesquisa experimental em áreas interdisciplinares como Física Biológica, Física Médica, Ciência dos Materiais e Instrumentação, entre outras, é feita em grande parte em laboratórios pequenos ou de porte médio, semelhantes aos de Matéria Condensada. Entretanto, em alguns temas, há necessidade de se recorrer a equipamentos de maior porte.

No momento há dois projetos em desenvolvimento no País, que envolvem equipamentos maiores e de custo de alguns milhões de dólares. São eles a fonte de luz Síncrotron do LNLS, em Campinas, e a máquina de implantação iônica do IF/UFRGS. O primeiro é um projeto de vulto, que está sendo desenvolvido competentemente, que terá utilidade para pesquisa em diversas áreas, como Física Atômica, Molecular e Matéria Condensada, Física Biológica, Química, etc. O investimento previsto para este projeto é de US$ 28 milhões, para os próximos 5 anos. O segundo consiste da expansão do implantador iônico já existente no IF/UFRGS, cuja finalidade é preparar e estudar materiais diversos. O custo desta expansão é estimado em US$ 4 milhões. além desses investimentos maiores, estas áreas necessitam de recursos para aquisição e operação de equipamentos menores, estimados em US$ 10 milhões para 5 anos. O investimento total no quinqüênio nestas áreas deverá ser então de US$ 64 milhões, dos quais 27 milhões de fontes não federais.

O programa federal de fomento às áreas interdisciplinares deve prever então, no mínimo, US$ 37 milhões para os próximos 5 anos.

f) Programa de Ensino Básico e Divulgação da Física

A melhoria do ensino de Física, ou mais genericamente da educação científica, nas escolas de primeiro e segundo graus, é essencial para o desenvolvimento futuro desta e de outras áreas da ciência, bem como da engenharia. Uma das maiores falhas do ensino atual é sua natureza excessivamente teórica, que decorre da falta de laboratórios nas escolas e do despreparo do professor secundário para ministrar aulas práticas. É de extrema importância que pesquisadores e docentes universitários sejam envolvidos em programas de treinamento de professores, produção de material educacional para escolas e material para divulgação da Física de forma mais ampla na sociedade. O Sub-programa de educação científica (SPEC) do PADCT apóia projetos nestas linhas, porém os recursos financeiros não são suficientes para produzir o impacto necessário

É importante alocar recursos adicionais aos do PADCT-SPEC para projetos da melhoria do ensino básico e divulgação da Física. O valor proposto para os próximos 5 anos é US$ 10 milhões

Recomendação 4. Recursos para os Programas de Física.

Além de manter o apoio básico às instituições e conceder auxílios individuais para pesquisa, viagens e organização de reuniões, o MCT deve formular um plano quinquenal para financiamento da Física pelo CNPq e pela FINEP, através de programas. Dados exaustivos para detalhamento dos programas encontram-se nos três volumes do documento "A Física na Próxima Década". Sugere-se que o orçamento total dos programas para um período de 5 anos seja de US$ 268,0 milhões, ou 53,6 milhões/ano em média o que é compatível com a Recomendação 2, distribuídos da seguinte forma:

Programas	Orçamento (US$ milhões)	
Infra-estrutura Básica	20,6	(7,5%)
F.Nuclear e Partículas	28,5	(10,6%)
F.Atômica, Mol. e Mat.Condensada	157,5	(58,8%)
Plasma	15,0	(5,6%)
Áreas Interdisciplinares	37,0	(13,8%)
Ens. Básico e Divulg. da Física	10,0	(3,7%)
Total (5 anos)	268,0	

4.3 Recomendações Relativas à Formação e Fixação de Recursos Humanos

a) Formação no País

O número atual de pesquisadores no País é muito reduzido para nossas pretensões de desenvolvimento tecnológico. A formação de mestres e doutores em Física no País dever ser acelerada, principalmente nas áreas experimentais e com maiores possibilidades de aplicações. Propõe-se como meta para a Física, atingir o número de 3.000 doutores em torno do ano 2004. Para que esta meta possa ser alcançada é imprescindível que a taxa de formação de doutores nos País aumente substancialmente, passando do valor atual de 100/ano para 150/ano, num período de 5 anos. Este aumento está perfeitamente dentro das possibilidades do atual sistema de pós-graduação em Física no País, mas para que ele ocorra não basta haver maior número de bolsas de pós-graduação pois um dos fatores mais limitantes é o suprimento de estudantes qualificados. É preciso estimular mais a atividade de iniciação científica na graduação,

atribuindo créditos acadêmicos a ela e aumentando o número de bolsas. É importante também melhorar o valor das bolsas de mestrado e doutorado, bem como das bolsas de incentivo à pesquisa e de recém-doutores.

Recomendação 5. Bolsas de Iniciação científica.

O número de bolsas de iniciação científica do CNPq na área da Física deve aumentar passando de 650 para 1300 a médio prazo, de modo a se alcançar uma razão Bolsas de Iniciação/Bolsas de Pesquisa de 2/1. Este aumento deve privilegiar as áreas experimentais e com maior potencial de aplicações.

-

Recomendação 6. Valor das Bolsas no País.

O valor das bolsas de mestrado e doutorado no País deve ser mantido em nível compatível com a situação profissional e de família dos bolsistas, devendo prover também seguro de saúde como as bolsas no Exterior. Recomenda-se também ao CNPq e CAPES a criação de um adicional para bolsistas com atividades docentes. A exemplo do que faz a UFMG, as próprias universidades deveriam criar bolsas de monitoria de pós-graduação com esta mesma finalidade. Isto possibilitará melhorar a remuneração dos estudantes de pós-graduação e aliviar a pressão para a contratação prematura de docentes.

Recomendação 7. Aumento do Número de Bolsas de Pós-Graduação

O número de bolsas de pós-gradução em Física deve ser aumentado a uma taxa média de 10% ao ano, visando dobrar a população de estudantes de doutorado em sete anos.

Recomendação 8. Doutorado sem o Pré-Requisito do Mestrado

Os bons estudantes devem ser estimulados a entrarem diretamente nos programas de doutorado em Física, sem a necessidade de apresentar dissertação de mestrado. Uma forma de incentivo financeiro é o aumento da diferença entre os valores das bolsas de doutorado e de mestrado. Contudo, é necessário também que os próprios orientadores e coordenadores de cursos criem ambiente propício para o encorajamento dos estudantes.

b) Doutoramento no Exterior

Os programas de doutorado no Exterior na área da Física tem atualmente cerca de 130 estudantes brasileiros com bolsas do CNPq ou da CAPES, formando por ano cerca de 25 doutores. Por outro lado os programas no Brasil tem 700 estudantes, tendo produzido em 1991 cerca de 100 doutores. Mesmo formando quatro vezes mais doutores, o custo total dos estudantes no País é comparável com o do Exterior, pois um estudante aqui custa em média cerca de US$ 20 mil enquanto no Exterior custa US$ 100 mil. Outra consideração negativa sobre os programas no Exterior refere-se ao projetos de tese nos quais nossos estudantes são envolvidos. A definição do tema é de exclusiva responsabilidade do orientador no Exterior, sem qualquer influência dos órgãos financiadores da bolsa ou das instituições para as quais o candidato poderá retornar no Brasil. A estas preocupações soma-se outra mais recente, o crescente número de bolsistas no Exterior que não retornam ao País após a obtenção do doutorado. Esta evasão decorre não apenas da crise que atravessamos, mas também da falta de acompanhamento individual dos bolsistas no Exterior e de instrumentos mais eficazes de cobrança do retorno dos investimentos aos que não voltam ao País.

Não obstante estes problemas, os programas de bolsas no Exterior são importantes para suprir as deficiências de certas sub-áreas e para trazer ao País os mais recentes avanços. Portanto eles devem ser mantidos em sua dimensão atual, porém não podem deixar de ser alterados.

Recomendação 9. Doutorado no Exterior

O número de bolsas de doutorado no Exterior na área da Física não deve ser reduzido. Porém, recomenda-se que ele seja dividido entre dois programas, um de balcão e outro de indução. O programa de balcão deve ser extremamente competitivo, concedendo bolsas apenas para projetos em temas de fronteira que não ofereçam oportunidade de doutorado no País e para candidatos com aceitação nas melhores instituições do mundo. O programa de indução deve oferecer bolsas para certas áreas estratégicas, prioritoriamente para trabalhos experimentais com técnicas mais avançadas e pouco difundidas no País.

Em ambos os programas, cada bolsista no Exterior deve ter um tutor no País que acompanhará seu trabalho, através de contato oficial por delegação do CNPq/CAPES, com o estudante e seu orientador. O tutor fará relatórios periódicos para o órgão que concede a bolsa e manterá o bolsista informado sobre as oportunidades de emprego no País. A atividade tutorial deve ser remunerada, ou talvez incluída entre as obrigações dos bolsistas de pesquisa do CNPq.

Para dificultar a evasão, CNPq e CAPES devem criar instrumentos legais para a cobrança dos gastos com os bolsistas nos caso destes não retornarem ao País.

-

Recomendação 10. Pós-Doutorado e Doutorado Sandwich

CNPq e CAPES devem incentivar ainda mais os programas de pós-doutorado no Exterior para os candidatos que obtenham o doutorado no País, bem como os programas de doutorado no País com parte da tese realizada no Exterior, o doutorado "Sandwich".

-

c) Fixação de Pesquisadores no País

O programa de bolsas de pesquisa criado pelo CNPq na década de 70 tem se constituído em importante mecanismo de incentivo à pesquisa, principalmente nas universidades federais. Ao contrário de outros incentivos salariais, a concessão da bolsa de pesquisa está sujeita a uma rigorosa avaliação técnico-científica do candidato e sua renovação é condicionada a produção intelectual do bolsista. Apesar de suas características positivas, as bolsas de pesquisa freqüentemente sofrem ameaça de extinção ou tem seu valor reduzido a níveis ridiculamente baixos. É da maior importância para a pesquisa no País que este programa de bolsa seja estabilizado, ampliado e aperfeiçoado de modo a estimular a fixação de pesquisadores, não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de ciência e tecnologia.

Recomendação 11. Bolsas para Pesquisadores

Os programas de bolsas de pesquisa, recém-doutor e desenvolvimento científico regional do CNPq devem ser ampliados e aperfeiçoados, de modo a estimular a fixação de pesquisadores, não apenas nas universidades, mas também nos institutos federais e estaduais de pesquisa, dentro de um planejamento global pré-estabelecido. Estas bolsas devem ter contribuição máxima muito maior que os valores atuais, porém dever ser sujeitas a tetos rígidos como era feito no passado. Desta forma, elas poderão servir de importante instrumento de incentivo a fixação de pesquisadores nos institutos estaduais que, em geral, proporcionam salários menores que as universidades e institutos federais e não conseguem atrair pesquisadores.

4.4 Recomendações para Ampliação do Papel da Física no Desenvolvimento do País

a) Financiamento dos Centros Menores ou Mais Novos

Segundo os dados do CNPq, das verbas distribuídas pelo Comitê de Física para auxílios, a parcela que atinge os grupos dos novos centros é da ordem de 10 a 15% do total. Como esses grupos não têm verbas da FINEP, os recursos que eles dispõem para pesquisa são desprezíveis em comparação com os dos grupos dos centros maiores. É preciso que a comunidade científica e, principalmente, os órgãos do governo, entendam que a consolidação da Física no País só ocorrerá quando houver pesquisa de boa qualidade em um número de centros muito maior e espalhados por todo país, do que aqueles que são usualmente financiados pela FINEP. E para isso, é imprescindível que haja a destinação de uma parcela maior de recursos do CNPq e da FINEP para os novos grupos.

Recomendação 12. Apoio aos Centros Menores/Novos

Os órgãos federais devem estabelecer uma política explícita de apoio aos grupos de pesquisa de bom nível nos centros menores ou mais novos, bem como de nucleação de novos grupos nesses centros, através de programas especiais e recursos adicionais para este fim. A nucleação de novos grupos pode ser feita por meio da concessão de auxílios substanciais e compromisso de apoio continuado, estimulando jovens físicos com capacidade de liderança a se fixarem nos novos centros, e criando projetos de parceria com pesquisadores mais experientes de centros mais desenvolvidos.

b) Diversificação de Currículos e Cursos Interdisciplinares

Os atuais cursos de engenharia e bacharelado em Física no País têm em geral uma estrutura rígida tradicional, que não está formando profissionais adequados para a indústria em certas áreas de tecnologia de ponta. Este é o caso das indústrias de óptica e opto-eletrônica, de materiais especiais, supercondutores, cristais líquidos, etc.), de vácuo e criogenia entre outras. É da maior importância aumentar a ênfase na formação experimental nos cursos de física e engenharia, tanto na graduação como na pós-graduação, bem como diversificar os currículos e criar cursos interdisciplinares, visando formar profissionais para estas áreas.

Recomendação 13. Diversificação de Currículos e Criação de Novos Cursos

Os cursos de Física devem diversificar seus currículos, aumentar a formação experimental em óptica, materiais para eletrônica, vácuo e criogenia e incorporar opções que orientem estudantes para atividades fora da área acadêmica, inclusive com estágios em indústrias e centros de tecnologia. Juntamente com Departamentos de Engenharia Eletrônica e Mecânica, deve-se estudar a criação de cursos interdisciplinares visando formar profissionais para novas áreas de trabalho, tais como Engenharia Óptica e Engenharia de Materiais voltados para Eletrônica.

c) Institutos Federais ou Estaduais de Tecnologia

Como mencionado na Secção 3.1, há no País mais de uma dezena de institutos federais ou estaduais de tecnologia, cujo objetivo primordial é realizar serviços de testes, análises e consultorias técnicas para o setor produtivo. A disseminação de atividades de pesquisa nesses institutos, com a participação de doutores em Física, é essencial para a melhoria da qualidade de seus serviços e para capacitá-los a desenvolver ou ajudar a transferir tecnologia de universidades para empresas. Os orgãos federais devem apoiar agressivamente a fixação de pesquisadores nesses institutos, dando-lhes meios para montagem de laboratórios e nucleação de novos grupos.

Recomendação 14. Fixação de Doutores nos Institutos Tecnológicos.

O CNPq e a FINEP devem estabelecer uma política explícita para fixação nos institutos tecnológicos de mestres e doutores em áreas da Física com maior interface com a tecnologia, oferecendo a eles bolsas especiais de pesquisa de maior valor que as normais, e assegurando recursos para a montagem de novos laboratórios e projetos de parceria com universidades. Porém, no caso dos institutos estaduais, isto só deve ser feito mediante o compromisso das administrações estaduais em prover contrapartidas e assegurar apoio adequado ao novos pesquisadores.

d) Criação de Empresas de Base Tecnológica

Nos países desenvolvidos os físicos, assim como pesquisadores de outras áreas, tem importante papel na criação de empresas de base tecnológica. Muitos produtos e processos são desenvolvidos a partir de resultados obtidos no meio acadêmico pelos pesquisadores, ou mesmo por estudantes, que os transferem para empresas já existentes ou que são criadas para produzí-los. Reconhecendo a importância deste mecanismo, os governos dos países desenvolvidos estabeleceram vários meios para facilitar, financiar e estimular a criação de pequenas empresas de alta tecnologia, como empréstimos de risco para desenvolvimento de produtos, parques tecnológicos, incubadeiras de empresas, etc. Um dos exemplos mais recentes vem dos Estados Unidos, País citado como exemplo da pequena interferência do estado no setor privado. Em 1992 a National Science Foundation criou um programa intitulado "Small Business Innovation Research", destinado a financiar a fundo perdido projetos de pesquisa de empresas que possam resultar em produtos ou processos de alta tecnologia comercializáveis. No Brasil há várias iniciativas na direção de estimular a criação de empresas de base tecnológica, com alguns exemplos de sucesso que tiveram grande participação de físicos, como é o caso do Parque Tecnológico de São Carlos. Por outro lado, o programa de empréstimo de risco que existia na FINEP foi desativado nos últimos anos, em parte por conta dos casos de insucesso.

Recomendação 15. Estímulo à Criação de Empresas de Base Tecnológica.

O Governo Federal deve criar, através dos órgãos do MCT, do BNDES e da Fundação Banco Brasil, mecanismos explícitos de financiamento de incubadeiras de empresas, parques tecnológicos e empréstimos de risco, destinados a incentivar o desenvolvimento de produtos de potencial comercial e a criação de pequenas empresas, a partir dos resultados da pesquisa nas universidades e institutos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

(1) SECRETARIA DE PLANEJAMENTO/CNPq. In: *Avaliação e Perspectivas,* Brasília, **1978.** p.39-126. ISBN.

(2) SECRETARIA DE PLANEJAMENTO/CNPq. Física In: *Avaliação e Perspectivas*, Brasília, **1982**. p.125-205.

(3) PHYSICS SURVEY COMMITTEE. *Physics through the 1990s: An Over View*, Washington, National Academy Press, **1986**. 167p.

(4) SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. *A Física no Brasil*, São Paulo, **1987**, 298p. ISBN 85-292-0001-2.

(5) SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. *A Física no Brasil na Próxima Década,* 3V, São Paulo, **1990**.